Х. Шпаннеберг

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

1000 понятий для практиков

СПРАВОЧНИК

Перевод с немецкого *В. А. Алешечкина*
Под редакцией *А. Н. Ледовского*



МОСКВА
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ
1988

ББК 31.261
Ш 83
УДК 621.313(035.5)

Рецензенты В. В. Лохнин, А. И. Москалев, В. В. Бочаров

1000 Begriffe für den Praktiker

Elektrische Maschinen

Herausgeber

Oberlehrer Dipl.-Gwl. Horst Spanneberg



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Шпаннеберг Х.

Ш 83 Электрические машины: 1000 понятий для практиков: Справочник: Пер. с нем. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 252 с.: ил.
ISBN 5-283-02446-6

Содержит совокупность основных понятий и терминов, используемых в области электрических машин, и построен по принципу технического словаря. Основной информационной единицей является ключевое слово, характеризующее те или иные конструктивные или схемные особенности электрических машин, способы и средства регулирования выходных параметров, контроля, защиты и измерения характеристик и параметров электрических машин.

Для инженерно-технических работников; может быть полезен студентам вузов и учащимся техникумов.

Ш $\frac{2302030000\text{-}026}{051(01)\text{-}88}$ 146-88 ББК 31.261

ISBN 5-283-02446-6

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уже из названия данной книги можно получить представление о том, для кого она предназначена. В первую очередь книга окажется несомненно полезной для специалистов, имеющих дело с электрическими машинами, причем в основном в практическом плане. Представленный в книге материал обеспечивает достаточно широкий охват затронутой темы и не обременен излишними (в данном случае теоретическими) выкладками, т. е. может быть легко усвоен специалистами со средним техническим образованием, а также не имеющими такой подготовки.

Следует отметить, что автор книги прекрасно отдает себе отчет в том, что в настоящее время сами по себе (без схем управления, регулирования и др.) электрические машины практически не используются. По этой причине в книге представлен материал, раскрывающий схемно-конструктивные особенности той элементной базы, которая используется в устройствах для управления электрическими двигателями и генераторами. Из этого можно сделать вывод о том, что представленный в книге материал несколько шире освещает затронутую тему, смещая ее в область электропривода. К сожалению, в данной книге не нашли отражения вопросы, связанные с использованием статических преобразователей (выпрямителей, инверторов, преобразователей частоты, тиристорных коммутаторов) в устройствах управления электрическими машинами. Такой материал, дающий краткое представление, хотя бы на описательном уровне, о схемной реализации, возможностях и основных характеристиках статических преобразователей, позволил бы отразить тенденцию развития современного электропривода. То же самое можно сказать относительно вопросов использования микропроцессорной техники в устройствах управления электрическими машинами. В то же время в книгу включены сведения о коллекторных машинах переменного тока, магнитных усилителях, которые в настоящее время практически утратили свои позиции в области электропривода.

Следует признать целесообразным включение в книгу сведений об основных электрических и магнитных величинах, наличие которых позволяет читателю освежить свои знания в области электротехники. Этот материал придает книге характер технического справочника и делает его более удобным для использования.

Основной информационной единицей, используемой в книге, является термин, снабженный определением и текстовой частью, дающей развернутое толкование термина. Бо́льшая часть определений к терминам заимствована из соответствующих ГОСТ, благодаря чему читатель имеет возможность ознакомиться с толкованием термина в том виде, в котором это предусматривается государственным стандартом. Необходимость подобного представления материала не вызывает сомнений, поскольку в настоящее время практически ни

в одной книге по электрическим машинам и электроприводу, в том числе и в учебных пособиях, подобные сведения не приводятся. С другой стороны, если такие попытки и делаются, то они в основном отражают представления авторов подобных книг, часто не совпадающие с определениями, данными в соответствующих стандартах.

Материал настоящей книги с точки зрения затронутой тематики можно разделить на несколько отдельных тем: единицы измерения электрических и магнитных величин; основные законы, используемые при расчете электрических и магнитных цепей; схемно-конструктивные особенности электрических машин и коммутационных аппаратов; принципы построения систем автоматического регулирования и управления с использованием электрических машин; элементы систем автоматического регулирования и управления; режимы работы электрических машин и коммутационных аппаратов; характеристики и параметры электрических машин и коммутационных аппаратов; схемы и устройства контроля и защиты электрических машин от аварийных режимов работы; простейшие типовые схемы и структуры электроприводов; характеристики электротехнических материалов.

Для облегчения пользования книгой она снабжена предметным указателем, помещенным в конце книги.

В. А. Алешечкин

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ПЕРЕВОДУ

Инженеры, мастера, рабочие, занимающиеся разработкой, монтажом и эксплуатацией электрических машин и агрегатов, должны обладать обширными знаниями и в таких смежных областях техники, как контроль и защита оборудования, автоматическое управление электрическими машинами, электротехнические материалы, используемые при изготовлении электрических машин.

Предлагаемая вниманию читателей книга в той или иной мере затрагивает основные вопросы, связанные с эксплуатацией электрических машин, и может быть полезна в качестве справочника в повседневной практике.

В краткой, сжатой форме приводятся сведения о схемно-конструктивных особенностях, режимах работы и параметрах основных типов электрических машин. Приведены типовые схемы управления и защиты, используемые в устройствах с электрическими машинами. Расположение материала позволяет быстро отыскать необходимую информацию.

Книга содержит около 1000 терминов, расположенных в алфавитном порядке. Каждый термин снабжен определением и текстовой частью, раскрывающей более подробно его суть. В текстовой части термины в ряде случаев приводятся в сокращенном виде. Если суть какого-либо термина раскрыта в текстовой части другого термина, рядом в скобках делается ссылка на соответствующий термин.

Определения терминов, снабженные ссылками на источник информации, заимствованы из соответствующего источника.

Издатель и автор надеются, что книга окажется полезной специалистам, занимающимся эксплуатацией электрических машин.

Автор

А

Абсолютная магнитная проницаемость (магнитная проницаемость) — величина, характеризующая магнитные свойства вещества, скалярная для изотропного вещества, равная отношению модуля магнитной индукции к модулю напряженности магнитного поля и тензорная для анизотропного вещества [1].

Автомат защиты — автоматический выключатель, предназначенный для защиты человека и животных от поражения электрическим током, а также для защитного отключения электрооборудования во избежание его повреждения при протекании токов короткого замыкания.

Различают автоматы защиты от токов утечки, от повышенного напряжения, от перегрузки электродвигателей и токов короткого замыкания.

Автоматическое регулирование — способ регулирования, при котором задающее воздействие изменяется в функции других физических параметров. Автоматическое регулирование позволяет скомпенсировать влияние на объект регулирования различных дестабилизирующих факторов. Для решения этой задачи на входе системы автоматического регулирования производится сравнение задающего сигнала и сигнала обратной связи, пропорционального действительному значению контролируемого параметра (частоты вращения, тока, момента, ускорения и т. п.). Чем больше рассогласование, тем больше управляющее воздействие, стремящееся вернуть систему в прежнее, заданное состояние.

Автоматическое повторное включение (АПВ) — включение напряжения питания после его аварийного отключения и устранения последствий аварии.

Принцип работы АПВ основан на периодическом включении и отключении поврежденной электрической цепи. Время отключения автомата защиты должно быть достаточным для гашения электрической дуги и деионизации воздушного промежутка при повреждении изоляции. Кроме того время отключения электрической цепи должно быть достаточно малым, чтобы сохранить работоспособность конкретного потребителя. Если имеет место глухое короткое замыкание, то после нескольких неудачных попыток включения поврежденной цепи происходит полное ее отключение.

Автоматическое управление — целенаправленное воздействие на объект регулирования с целью поддержания на заданном уровне его выходных параметров без участия человека.

При автоматическом управлении один или одновременно несколько входных сигналов воздействуют на объект регулирования, обеспечивая стабилизацию или изменение по заданному закону параметра регулирования. Так, например, с помощью регулятора тока возбуждения можно автоматически поддерживать напряжение в обмотке якоря электрического генератора; с помощью регулятора температуры, управляющего электрическим нагревателем, — темпе-

ратуру в помещении и т. д. С помощью управления можно задавать скорость изменения температуры при термической обработке металлов и их сплавов, уровень освещенности в зависимости от времени года и суток и многое другое. Существуют и более простые системы, например система управления освещением улиц, в которой светильники находятся в двух состояниях — включенном и отключенном. В сложных системах используются обратные связи по параметру регулирования, благодаря чему определяется отклонение действительного значения параметра от заданного. В зависимости от значения и знака отклонения формируется управляющее воздействие, сводящее рассогласование параметров к минимально возможному значению. Такие системы называются замкнутыми.

В качестве источников энергии, необходимой для функционирования системы автоматического управления, используются электрические, пневматические и гидравлические устройства.

Автоматы защиты от повреждения изоляции — двух- или четырехполюсные автоматические выключатели, мгновенно или с выдержкой времени отключающие поврежденную электрическую цепь при превышении током утечки максимально допустимого значения. Ток срабатывания автоматов защиты изменяется в пределах 5—1000 мА.

Такие автоматы широко используются в различных электрических цепях для повышения электробезопасности и предотвращения пожара. В последнем случае ток срабатывания не должен превышать 300 мА. Задержка отключения позволяет исключить ложные срабатывания, например, при кратковременных дуговых разрядах. Автоматы содержат коммутационный аппарат, суммирующий преобразователь тока, расцепитель и контрольно-измерительный блок. Принцип работы автоматов защиты аналогичен принципу работы устройства защиты от тока утечки.

В зависимости от способа подключения суммирующего преобразователя тока различают автоматы защиты с прямым подключением (рис. 1, *а*), с промежуточным реле (рис. 1, *б*) и с импульсным расцепителем (рис. 1, *в*). Автоматы защиты от повреждения изоля-

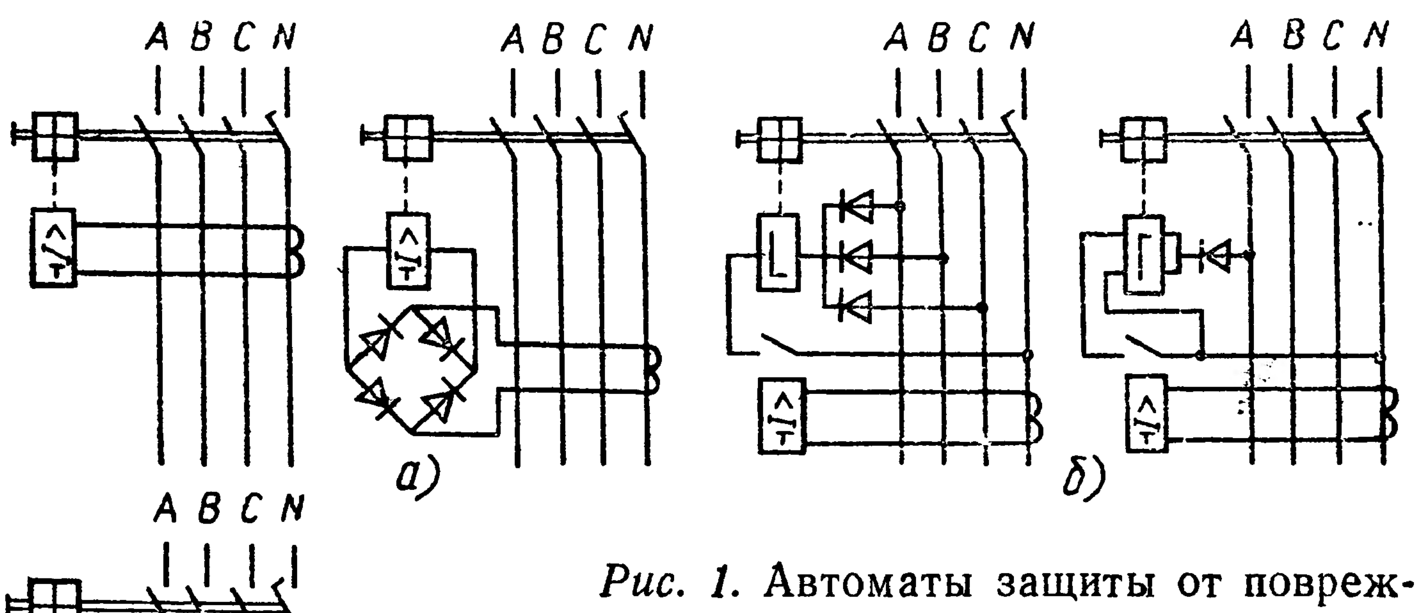


Рис. 1. Автоматы защиты от повреждения изоляции:

а — использование суммирующего преобразователя на переменном (слева) и постоянном токе; *б* — использование промежуточного реле с непосредственным и косвенным разрывом цепи питания автомата защиты; *в* — использование импульсного прерывателя с накопительным конденсатором

ции используются только в электрических цепях переменного тока, поскольку в них заложен принцип трансформации контролируемых величин.

Автомобильный генератор переменного тока — синхронный генератор с электромагнитным возбуждением, предназначенный для питания электропотребителей автомобиля и приводимый во вращение двигателем внутреннего сгорания.

В связи с тем что частота вращения двигателя внутреннего сгорания изменяется в зависимости от режима работы автомобиля в широких пределах (600—7000 об/мин), для стабилизации напряжения генератора используется регулятор тока возбуждения. На роторе генератора расположена кольцевая обмотка возбуждения, подключенная к источнику постоянного тока. На статоре расположена обмотка переменного тока, соединенная по схеме звезда, причем выводы указанной обмотки подключены к нерегулируемому трехфазному мостовому выпрямителю. Таким образом, питание электропотребителей автомобиля осуществляется постоянным током стабильного напряжения, значение которого поддерживается при помощи электронного или электромеханического регулятора тока возбуждения на уровне 14 или 28 В.

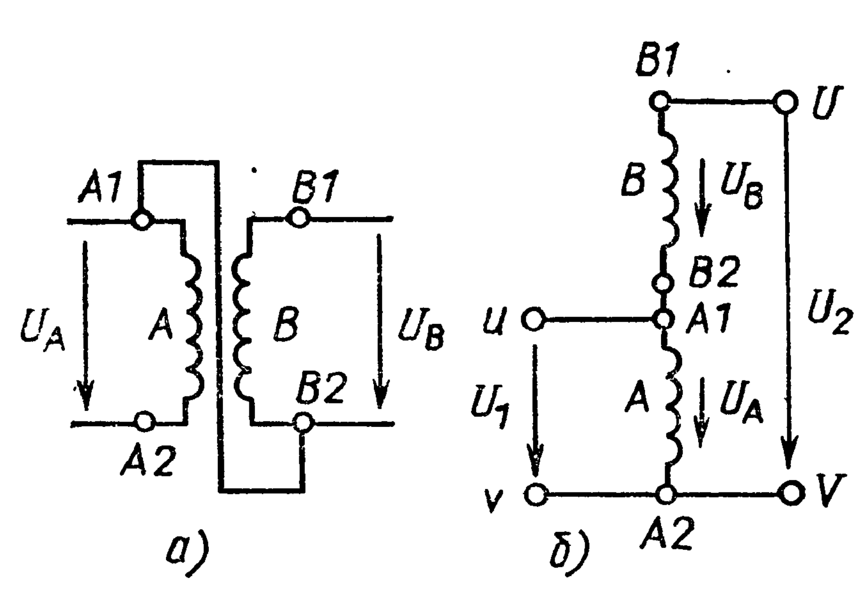


Рис. 2. Автотрансформатор

Автономная работа — режим работы единичного синхронного генератора на электропотребители. Автономная работа синхронных генераторов используется для повышения надежности электропитания особо ответственных потребителей, не допускающих перерыва в электроснабжении, например устройств связи, электрооборудования в некоторых отраслях промышленности, нарушение электроснабжения которого может привести к значительному экономическому ущербу или к человеческим жертвам.

Автотрансформатор (АТ) — трансформатор, две или более обмоток которого гальванически связаны так, что они имеют общую часть.

В принципе любой обычный трансформатор можно включить по схеме автотрансформатора (рис. 2, *а*), в результате чего обмотки *A* и *B* окажутся включенными последовательно (рис. 2, *б*). Если к выводам *A1—A2* приложить напряжение U_1, то большее по значению напряжение появится на выводах *A2—B1*, оно в данном случае является напряжением U_2 вторичной обмотки. Учитывая, что $U_1 = U_A$, можно записать, что $U_2 = U_A + U_B$. Поскольку часть витков обмотки автотрансформатора используется одновременно в качестве первичной и вторичной обмоток, удается снизить общее количество витков.

Наличие гальванической связи между первичной и вторичной обмотками приводит к тому, что часть мощности передается в нагрузку непосредственно из питающей сети, а другая часть мощности передается с помощью электромагнитного поля, как в обычном трансформаторе. Обмотки и магнитная система АТ рассчитаны

только на последнюю составляющую полной мощности АТ, что позволяет делать его на большую мощность.

При подаче напряжения питающей сети на зажимы $U—V$ (рис. 2) АТ выступает в роли делителя напряжения. По схеме АТ могут включаться как однофазные, так и трехфазные трансформаторы.

Преимущество АТ заключается в снижении массы и габаритов по сравнению с обычными трансформаторами. Основным недостатком АТ является невысокая электробезопасность, поскольку при повреждении изоляции высшее напряжение может оказаться на стороне обмотки низшего напряжения, к тому же АТ плохо выдерживают действие тока короткого замыкания. По этой причине область использования АТ весьма ограничена.

Аксиальный вентилятор (вентилятор).

Активная мощность — мощность электрической цепи переменного тока, преобразуемая в тепловую или механическую энергию. Условное обозначение — P, единица измерения — ватт (Вт).

При активной мощности имеет место совпадение фаз тока и напряжения, т. е. в любой момент времени направление тока совпадает с направлением напряжения (рис. 3, *а*). При этом мгновенное значение всегда больше нуля, т. е. $P = Ui > 0$ (рис. 3, *б*). Изменение мощности имеет синусоидальный характер, причем частота изменения вдвое превышает частоту изменения тока или напряжения. К потребителям с активной мощностью относятся резисторы. Для ее измерения используются приборы электродинамической системы [1].

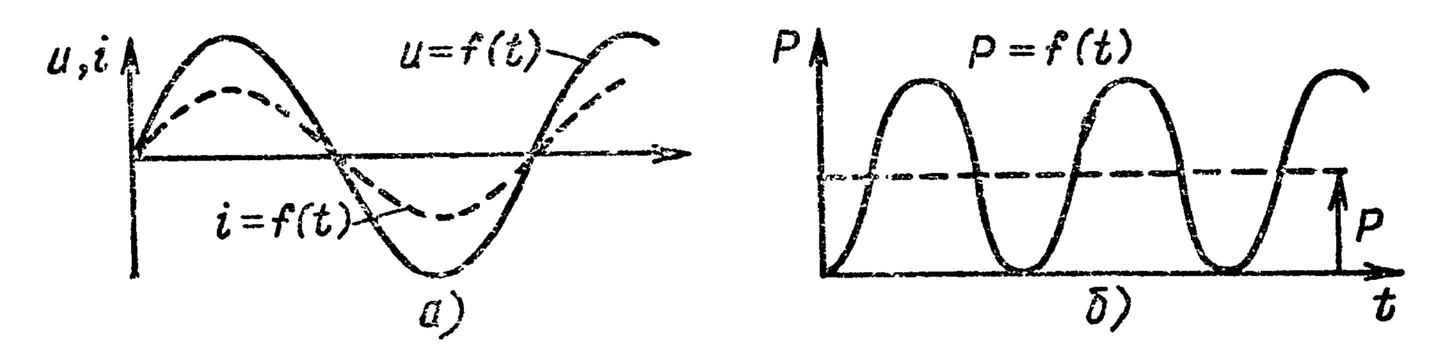


Рис. 3. Активная мощность

Активная нагрузка — составляющая полной нагрузки электрической машины переменного тока, участвующая в электромеханическом процессе преобразования энергии.

При активной нагрузке ток совпадает по фазе с напряжением, причем его значение меньше ЭДС машины на значение падения напряжения на омическом сопротивлении ее обмотки. В генераторном режиме работы активная нагрузка создает тормозной момент, уравновешиваемый моментом первичного двигателя.

Активное сопротивление — параметр электрической цепи или ее схемы, равный отношению активной мощности пассивной электрической цепи к квадрату действующего значения тока на входе этой цепи.

Активное сопротивление характеризует свойство идеального элемента электрической цепи переменного тока, напряжение на зажимах которого пропорционально протекающему через него току. При его включении в электрическую цепь переменного тока напряжение и ток в этой цепи совпадают по фазе. Поскольку активное

сопротивление не зависит от частоты переменного тока, его действие аналогично действию в цепи постоянного тока. Практически все соединительные провода обладают активным сопротивлением и прохождение через них тока сопровождается выделением тепла [1].

Активный ток (полный ток).

Алгебра логики является алгеброй двух чисел, принимающих значения 0 и 1, и устанавливает взаимосвязь между входными и выходными сигналами логических элементов и схем.

Алгебра логики распространяется на контактные и бесконтактные ключевые элементы и с помощью набора правил выполнения действий над логическими сигналами позволяет осуществлять минимизацию сложных релейно-контактных схем.

Ампер (А) — единица измерения силы электрического тока; определяется через силовое взаимодействие проводников с током. Ампер есть сила неизменяющегося тока, который, будучи поддерживаем в двух параллельных прямолинейных проводниках бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга в вакууме, вызвал бы между этими проводами силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Эта единица получила название в честь известного французского физика Андре Мари Ампера (1775—1836) и является одной из семи основных единиц Международной системы единиц СИ [1].

Амплитудное значение — максимальное (пиковое) мгновенное значение изменяющейся величины.

Амплитудно-импульсная модуляция — один из способов изменения среднего значения напряжения, подаваемого на обмотки электродвигателя с целью регулирования его частоты вращения.

В данном способе регулирования напряжение питания, например, для электродвигателя постоянного тока формируется в виде последовательности однополярных импульсов одинаковой амплитуды и длительности. При изменении соотношения длительности импульсов и паузы между ними происходит изменение среднего значения напряжения. Указанные импульсы формируются с помощью электронных коммутирующих устройств.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) — зависимость от частоты модуля входной, выходной или передаточной функции электрической цепи, выраженных в комплексной форме.

Для определения АЧХ составляется система уравнений, описывающая данную электрическую цепь, которая преобразуется в операторную форму. После решения указанной системы полученный результат представляется в комплексной форме. Обычно АЧХ может быть представлена графически в виде траектории конца вектора выходного сигнала, изменяющего свой модуль и фазу при изменении частоты входного сигнала. Выходной сигнал в общем случае содержит вещественную и мнимую части [1].

Аналоговое управление — способ обработки информации в системе автоматического управления, основанный на использовании аналоговых сигналов, значение которых может быть определено в любой момент времени.

Сигнал задания в указанной системе может храниться в программном задатчике (на магнитной ленте, в кулачковом переключателе и т. д.) или задаваться оператором вручную.

Асинхронная машина (АМ) — машина переменного тока, у которой в установившемся режиме магнитное поле, участвующее в ос-

новном процессе преобразования энергии, и ротор вращаются с разными частотами вращения.

Синхронная частота вращения АМ прямо пропорциональна частоте напряжения питания и обратно пропорциональна числу пар полюсов обмотки статора. Для обеспечения работоспособности машины частота вращения электромагнитного поля, создаваемого обмоткой статора, должна быть больше (режим генератора) или меньше (режим двигателя) частоты вращения ротора. Разность указанных частот вращения, отнесенная к синхронной частоте вращения АМ, называется *скольжением*. При работе АМ в режиме двигателя увеличение нагрузки на валу приводит к снижению частоты вращения ротора или к увеличению скольжения (момента) двигателя [2].

Асинхронно-вентильный каскад — трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором, в цепь которого включен полупроводниковый преобразователь, соединенный через согласующий трансформатор с питающей сетью переменного тока.

Этот каскад относится к машинам переменного тока двойного питания. Полупроводниковый преобразователь выполнен на тиристорах и может работать в режиме выпрямителя или инвертора. В первом случае в цепь ротора двигателя поступает дополнительная мощность из питающей сети, благодаря чему двигатель может выйти на сверхсинхронную частоту вращения. Во втором случае посредством изменения угла управления тиристорами можно обеспечить регулируемый отбор мощности из роторной цепи двигателя и тем самым уменьшить его частоту вращения. Основным преимуществом данного способа регулирования является его экономичность, поскольку мощность скольжения возвращается в питающую сеть, а не рассеивается в виде тепла в роторной цепи [2].

Асинхронный генератор (АГ) — вращающаяся электрическая машина переменного тока, частота вращения которой превышает частоту вращения электромагнитного поля в рабочем зазоре. В этом режиме работы машина отдает активную мощность в сеть, т. е. работает в режиме генератора. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором может быть использован как АГ в том случае, если кроме выполнения указанного выше условия в его обмотку статора будет поступать из сети реактивная мощность, создающая вращающееся электромагнитное поле в зазоре машины. На сверхсинхронной частоте вращения ротора создается вращающееся электромагнитное поле, направление вращения которого противоположно направлению вращения ротора. Следует отметить, что АГ не получили широкого распространения как источники электроэнергии переменного тока из-за сложности их возбуждения и регулирования напряжения. Генераторный режим работы асинхронных машин используется в основном для их торможения (см. Способ торможения) и сравнительно просто реализуется в случае использования обмоток с переключением пар полюсов (например, в электроприводе центрифуги). Асинхронные двигатели с фазным ротором также используются в режиме АГ, причем сверхсинхронная частота вращения обеспечивается под действием активного момента на валу, например при спуске груза на крановых механизмах. Принцип работы асинхронного двигателя с фазным ротором в режиме АГ тот же, что и для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [2].

Асинхронный двигатель (АД) — вращающаяся электрическая машина переменного тока, принцип работы которой основан на яв-

лении электромагнитной индукции. В АД электрическая энергия преобразуется в механическую путем подключения обмотки статора к сети переменного тока. При этом частота вращения ротора меньше частоты вращения электромагнитного поля. Обычно АД называют также асинхронную машину, преобразующую электрическую энергию переменного тока, поступающего в обмотку статора, в механическую энергию вращающегося ротора.

Частота вращения ротора АД прямо пропорциональна частоте напряжения питания, обратно пропорциональна числу пар полюсов обмотки статора и определяется из выражения

$$n = (1 - s)\frac{60f}{2p},$$

где s — скольжение.

Ротор АД может быть выполнен с одной или несколькими короткозамкнутыми обмотками или с трехфазной обмоткой, к которой через контактные кольца подключаются пусковые резисторы.

Асинхронный двигатель с беличьей клеткой ротора (асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором).

Асинхронный двигатель с двойной беличьей клеткой (ротор с вытеснением тока) — асинхронный двигатель с вытеснением тока в роторе, у которого вторичная обмотка выполнена в виде двух беличьих клеток — пусковой и рабочей [3].

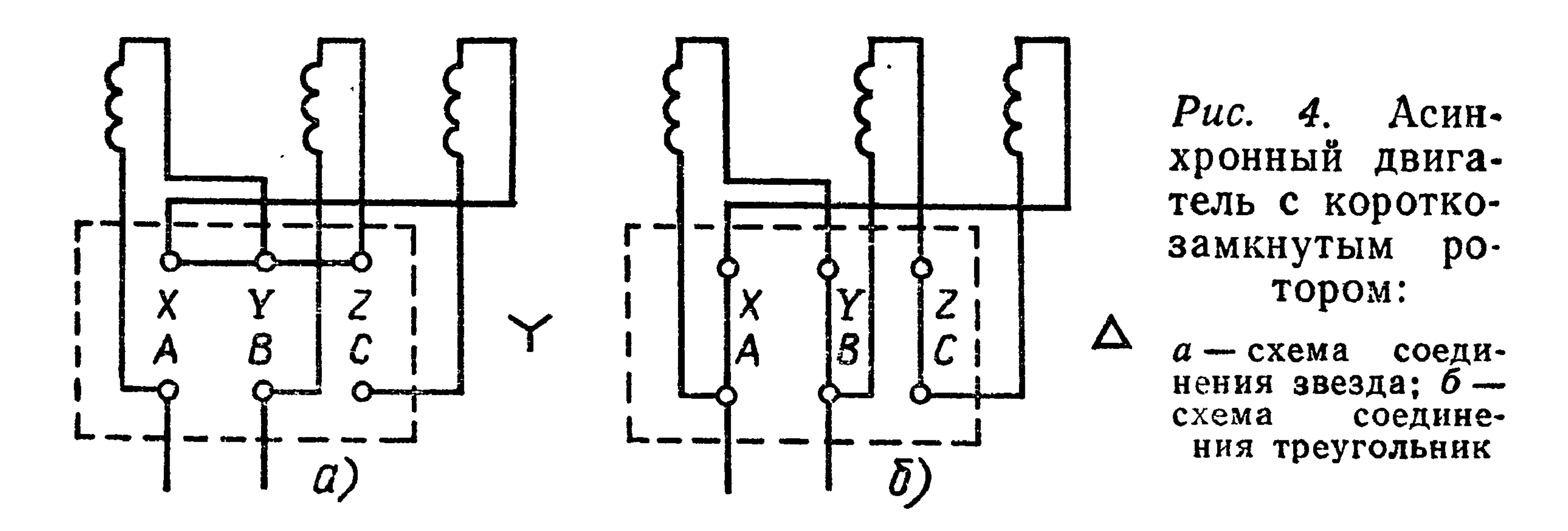


Рис. 4. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором:

а — схема соединения звезда; *б* — схема соединения треугольник

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором — асинхронный двигатель, у которого обмотка ротора выполнена в виде короткозамкнутой обмотки или клетки.

Короткозамкнутый ротор напрессован на вал, концы которого закреплены в подшипниках симметрично внутри расточки статора. Между поверхностью статора и ротора сохраняется равномерный по расточке воздушный зазор 0,2—1,5 мм. При подключении обмотки статора двигателя, соединенной по схеме звезды (рис. 4, *а*) или треугольника (рис. 4, *б*), к трехфазной сети переменного тока в статоре создается вращающееся магнитное поле. Частота вращения этого поля постоянна и определяется частотой напряжения питающей сети и числом пар полюсов обмотки статора. В результате взаимодействия вращающегося магнитного поля с короткозамкнутой обмоткой ротора в последней наводится ЭДС, вызывающая протекание токов в стержнях обмотки ротора двигателя. Эти токи создают собственное магнитное поле, в результате взаимодействия

которого с магнитным полем статора в соответствии с законом Ленца возникает вращающий момент, стремящийся устранить причину, вызвавшую появление тока в короткозамкнутой обмотке ротора. Работоспособность двигателя поддерживается только в том случае, если частота вращения магнитного поля статора отличается от частоты вращения ротора, поскольку в этом случае обеспечивается взаимное перемещение магнитного поля статора относительно стержней обмотки ротора, а следовательно, и появление в них тока и вращающего момента. По этой причине рассматриваемые двигатели называются асинхронными. Они отличаются высокими надежностью и технологичностью, низкими стоимостью и эксплуатационными затратами. К их недостаткам относятся большой пусковой ток и малое значение пускового момента [2].

Асинхронный двигатель с полым ротором — асинхронный двигатель, у которого ротор выполнен в виде полого цилиндра из немагнитного электропроводящего материала. Такие двигатели используются в системах автоматики и выполняются на мощность от единиц до 100 Вт и частоты от 50 до 500 Гц. В пазах шихтованного статора уложены пусковая обмотка и обмотка управления. Обмотка пусковая подключается к сети переменного тока с напряжением 110 или 220 В через фазосдвигающий конденсатор, обмотка управления — через регулятор напряжения. В качестве последнего может использоваться резистор с переменным сопротивлением, автотрансформатор или полупроводниковый регулятор. При использовании транзисторного регулятора напряжение на обмотке управления меняется в пределах 30—60 В. При использовании тиристоров регулирование напряжения осуществляется изменением угла включения. Токи в обмотках образуют переменное вращающееся поле, приводящее к появлению вихревых токов в электропроводящем цилиндре. Взаимодействие токов обмотки и вихревых токов приводит к появлению вращающего момента. Для повышения эффективности преобразования энергии внутри цилиндрического ротора расположен круглый сердечник из магнитомягкого материала, неподвижно закрепленный в подшипниковом узле (рис. 5).

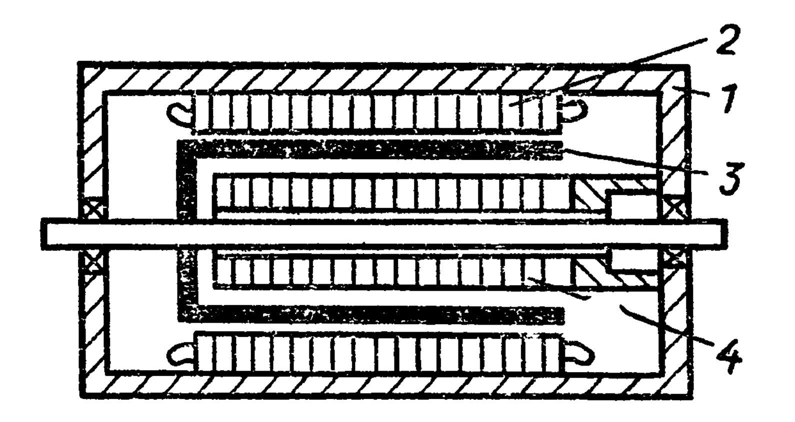


Рис. 5. Асинхронный двигатель с полым ротором:

1 — корпус; *2* — пакет статора с обмоткой; *3* — полый алюминиевый стакан ротора; *4* — шихтованный сердечник

Механическая характеристика двигателя не содержит характерного участка с критическим моментом. При регулировании частоты вращения путем изменения амплитудного значения напряжения на обмотке управления тепловые потери в двигателе оказываются незначительными. Недостатком асинхронных двигателей с полым ротором является некоторая сложность реализации реверса. Они используются в счетных устройствах и в системах обработки информации [3].

Асинхронный конденсаторный двигатель — однофазный асин-

хронный двигатель со вспомогательной обмоткой на статоре, в цепь которой постоянно включена емкость (рис. 6, *а*).

В том случае, если развиваемый пусковой момент недостаточен для пуска двигателя (большой момент на валу), параллельно рабочему конденсатору на время пуска можно включать дополнительный пусковой конденсатор. После разгона асинхронного конденсаторного двигателя пусковой конденсатор отключается вручную, например посредством отпускания кнопки (рис. 6, *б*), или автоматически. Двигатели наиболее часто используются в бытовых приборах и машинах: стиральных машинах, пылесосах, насосах; их мощность не превышает 1,5 кВт [3].

Асинхронный преобразователь частоты — электромашинный агрегат, состоящий из двух соединенных механически асинхронных машин, в котором одна из машин работает в режиме двигателя, другая — в режиме генератора. Первая асинхронная машина выполняется, как правило, с короткозамкнутым ротором, вторая — с фазным

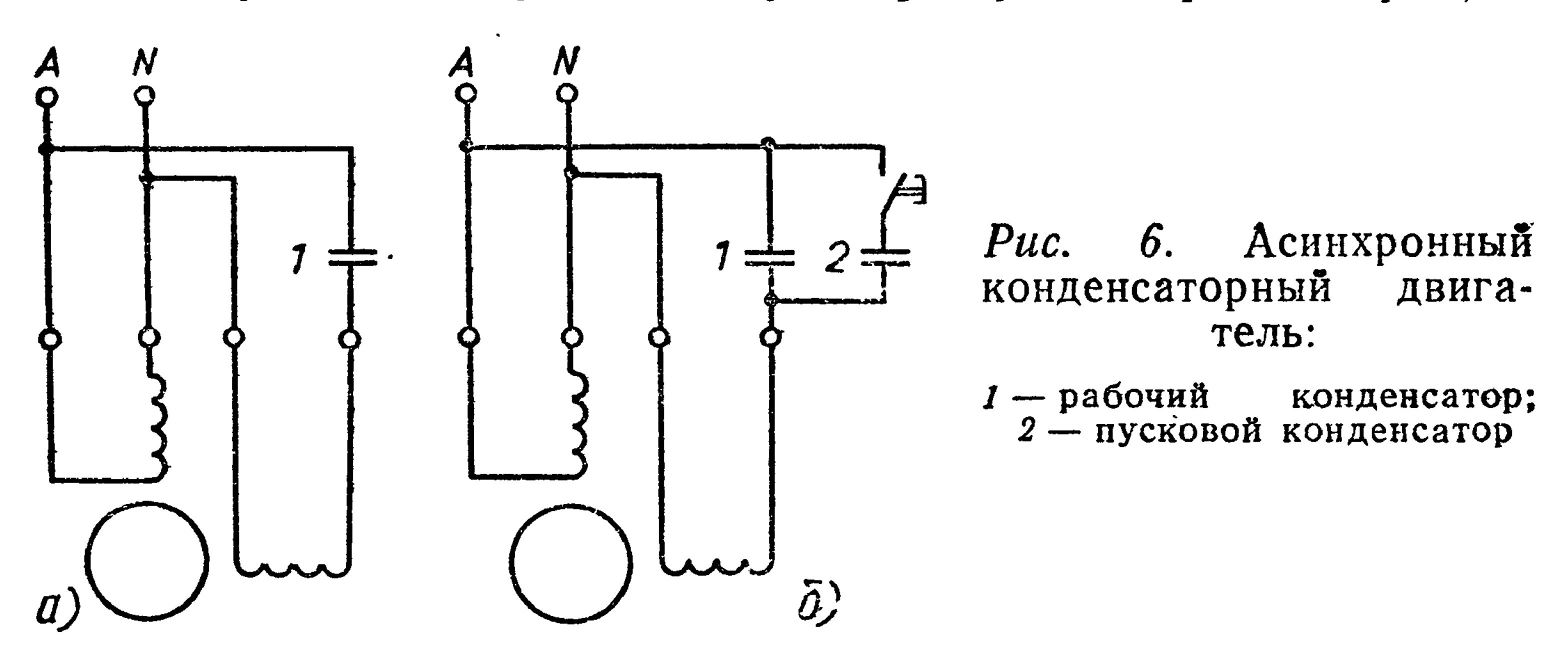


Рис. 6. Асинхронный конденсаторный двигатель:

1 — рабочий конденсатор; *2* — пусковой конденсатор

ротором. Обмотки статора обеих асинхронных машин подключены к общей трехфазной питающей сети переменного тока. Выходное напряжение АПЧ снимается с обмотки ротора асинхронной машины с фазным ротором. В общем случае обмотки статора могут иметь разное число пар полюсов. Направление вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, а следовательно, и ротора асинхронной машины с фазным ротором противоположно направлению вращения электромагнитного поля в рабочем зазоре последней. При равном числе пар полюсов асинхронных машин и частоте напряжения питания, равной 50 Гц, частота выходного напряжения асинхронного преобразователя частоты составляет 100 Гц [2].

Асинхронный пуск (асинхронный двигатель).

Б

Бак радиатора (бак трансформатора).

Бак трансформатора — бак, в котором размещается активная часть трансформатора или трансформаторного агрегата с жидким диэлектриком. Бак закрывается крышкой, которая прикручивается к активной части трансформатора посредством болтов. Для повышения теплоотдачи на внешней поверхности бака расположены ре-

бра охлаждения. Для трансформаторов большой мощности через стенки бака проходят трубы, в которых циркулирует масло. В баке с гладкими стенками часто используются тепловые трубы, располагаемые в зависимости от мощности трансформатора в 2—5 рядов [4].

Балансировка электрических машин — технические мероприятия, направленные на устранение разбаланса роторов электрических машин.

Статический разбаланс ротора электрической машины является следствием смещения центра тяжести ротора в радиальном направлении. В этом случае статическая балансировка осуществляется путем определения устойчивого, преимущественного положения ротора с последующим креплением центровочных грузиков на теле ротора с противоположной стороны. Указанные грузики могут быть расположены в специальных отверстиях и выполнены из материала с бо́льшим удельным весом, чем материал ротора. Для фиксации грузиков в отверстия заливается компаунд. Статическая балансировка используется для устранения последствий грубых отклонений размеров ротора от заданных значений.

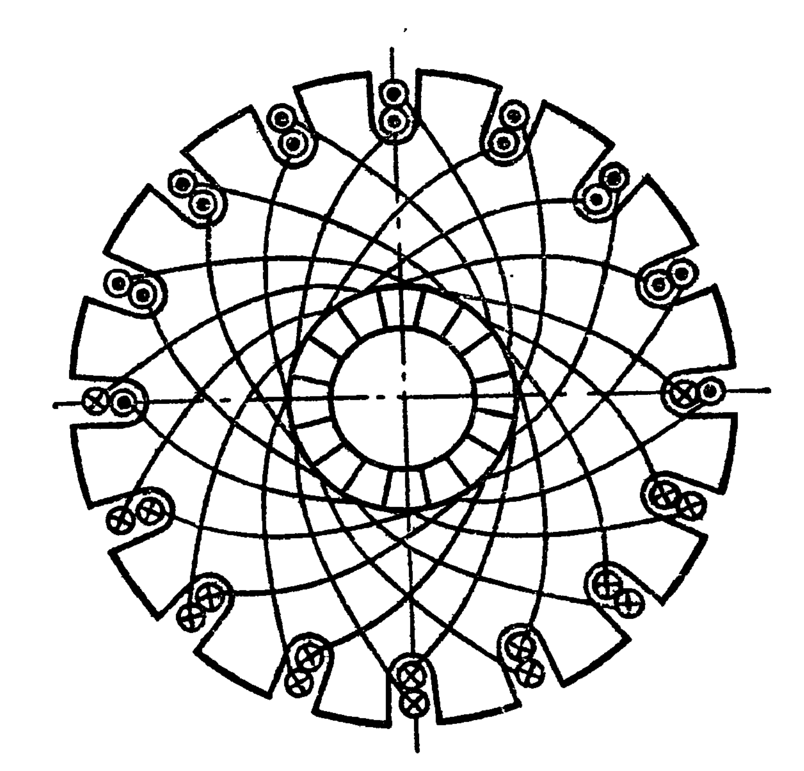


Рис. 7. Барабанная обмотка

Для балансировки электрических машин наиболее часто используется динамический способ, позволяющий снизить вибрацию электрической машины на больших частотах вращения. При наличии динамического разбаланса происходит интенсивный износ подшипников и ухудшаются электромагнитный и тепловой режимы работы машины. Для устранения динамического разбаланса используются специальные балансировочные стенды. Наиболее просто динамический разбаланс устраняется путем высверливания отверстий в соответствующих точках боковой поверхности ротора, в которые запрессовываются металлические штифты. При балансировке микромашин на их поверхность наносится одна или несколько капель эпоксидной смолы. Некоторые машины уже в процессе изготовления оснащаются балансировочными приспособлениями, выполненными, например, в виде расположенных на торцах ротора направляющих, в которых фиксируются в нужном месте балансировочные грузики. Особое внимание следует уделять креплению грузиков, поскольку их срыв может привести к серьезным механическим повреждениям электрической машины.

Барабанная обмотка — обмотка якоря коллекторных машин постоянного и переменного тока, уложенная в пазах шихтованного магнитопровода цилиндрической формы.

Выводы обмотки в зависимости от типа и конструкции электрической машины присоединяются к пластинам коллектора, к контактным кольцам или соединены по схеме волновой обмотки. В от-

личие от кольцевой в барабанной обмотке используются обе стороны катушки обмотки (рис. 7).

Барабанный контроллер — коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации цепей постоянного и переменного тока низкого напряжения, в котором замыкание электрических цепей производится с помощью контактного пальца специальной формы, прижимающегося к контактному сегменту, установленному на валу контроллера. Оба контактных элемента выполняются из легированной меди. При вращении сегмента рабочая поверхность контактного кольца скользит по боковой поверхности сегмента, благодаря чему обеспечивается удаление окисной пленки и грязи. При отключении контактной пары механизм контроллера обеспечивает скачкообразное изменение положения контактного пальца с помощью кулачка специальной формы. Это позволяет снизить вероятность приваривания контактных элементов. Контактная система контроллера должна подвергаться профилактическим осмотрам с целью замены пришедших в негодность контактных элементов [5].

Барабанный реостат (пусковой реостат).

Бегущее магнитное поле — магнитное поле, совершающее в отличие от вращающегося магнитного поля не вращательное, а поступательное движение.

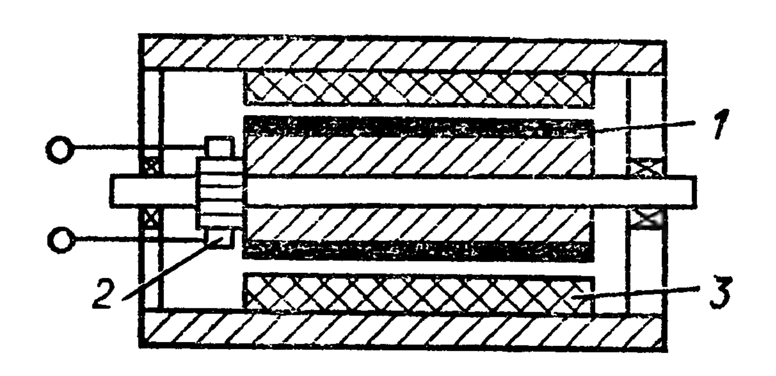


Рис. 8. Беспазовая машина постоянного тока:

1 — обмотка якоря; 2 — коллектор со щетками; 3 — постоянные магниты

Если статор трехфазного двигателя переменного тока разрезать в одном месте в аксиальном направлении и развернуть на плоскости, то при подключении обмотки к трехфазной сети переменного тока магнитное поле будет перемещаться вдоль статора влево или вправо в зависимости от порядка чередования фаз. Этот принцип положен в основу работы линейного двигателя.

Бегущее магнитное поле используется в индукционных счетчиках электрической энергии, которые содержат две магнитные системы с обмотками тока и напряжения. Поле образуется в алюминиевом диске, в результате чего возникающие от поля вихревые токи создают момент, поворачивающий диск.

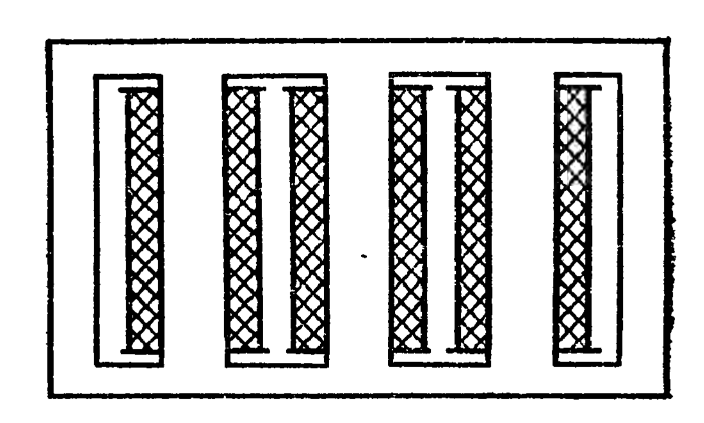
Беспазовая машина постоянного тока — машина постоянного тока, имеющая гладкий магнитопровод якоря, на поверхности которого размещается обмотка (рис. 8).

Основное отличие беспазовой машины постоянного тока от обычной машины постоянного тока заключается в том, что обмотка якоря не укладывается в пазы ротора, а приклеивается к поверхности. Эти двигатели используются в системах автоматического регулирования. Для повышения быстродействия за счет снижения момента инерции ротора последний выполняется в виде удлиненного цилиндра небольшого диаметра. Отношение длины к диаметру принимается не менее 2—5. Мощность беспазовых машин постоянного тока составляет 300—1500 Вт [2].

Биметаллический расцепитель — расцепитель инерционного типа, предназначенный для защитного отключения электрической цепи при перегрузке.

Такой расцепитель используется в автоматах защиты и включается в защищаемую электрическую цепь последовательно. Он выполнен в виде биметаллической пластины, на которую намотана нагревательная спираль, включенная в контролируемую сеть. При увеличении тока нагрузки сверх номинального значения спираль нагревает биметаллическую пластину, при определенной температуре которой происходит ее изгиб. При этом пластина воздействует на фиксатор, освобождающий механизм автомата защиты, который отключается. Чем больше перегрузка защищаемой цепи, тем меньше времени требуется на нагрев биметаллической пластины. При кратковременных перегрузках, вызванных, например, запуском электродвигателя, расцепитель не успевает сработать вследствие своей инерционности. На практике биметаллические расцепители часто

Рис. 9. Бронестержневая магнитная система



используются в комбинации с мгновенными электромагнитными расцепителями максимального тока, защищающими электродвигатели от коротких замыканий.

Бирка с паспортными данными — табличка из металла или пластмассы, закрепляемая на корпусе прибора, аппарата или электрической машины и содержащая основные технические данные о них.

К техническим данным относятся номинальное напряжение, род и значение тока, номинальная мощность, число фаз переменного тока, частота вращения (для электродвигателей), масса и т. д. Кроме того, в табличке указываются завод-изготовитель, заводской номер, дата выпуска, тип прибора, аппарата или электрической машины.

Блокировочная схема предназначена для управления группой контакторов с заданной последовательностью их включения и отключения, ее тип определяется используемыми техническими средствами и функциональными особенностями системы управления в целом. Простейшие схемы стандартизованы (схема зависимого включения; схема зависимого отключения; блокировка взаимная) и на практике могут использоваться в различных комбинациях в зависимости от алгоритма управления тем или иным объектом управления. Известно также использование блокировочных схем, предназначенных для блокировки включения различного электрооборудования на период профилактического осмотра и ремонта (разблокировка).

Броневая магнитная система (магнитная система трансформатора) — магнитная система, в которой оба конца каждого стержня соединяются не менее чем двумя боковыми ярмами [5]

Бронестержневая магнитная система — магнитная система, в которой часть стержней имеет боковые ярма или каждый стержень — не более чем одно боковое ярмо. Система используется при изготовлении трехфазных трансформаторов. Она имеет три стержня, на которых расположены первичная и вторичная фазные обмотки (рис. 9). Концы двух крайних стержней соединены боковыми ярмами, расположенными параллельно стержням и не несущим обмоток. Бронестержневые магнитные системы применяются в мощных трансформаторах. Их преимущество заключается в том, что сечение верхних ярм примерно на 60 % меньше, чем стержневых магнитных систем, что позволяет уменьшить высоту магнитной системы [5].

В

Ватт — единица измерения электрической мощности (Вт).

Мощность электрического потребителя составляет 1 Вт, если в течение 1 с в нем совершается работа в 1 Дж:

$$1\ \text{Вт} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{с}}.$$

Единица измерения названа в честь английского инженера Джеймса Ватта (1736—1819) [1].

Ввод трансформатора электрической печи — гальваническая связь вторичной обмотки трансформатора электрической печи с нагревательным элементом.

Ввиду больших значений тока во вторичной обмотке трансформатора провода, подключенные к нагревательному элементу, создают мощные магнитные поля. Поля вызывают вихревые токи в металлоконструкциях, что приводит к их нагреву, к рассеянию мощности трансформатора и к значительным электродинамическим перегрузкам. Для уменьшения вредного влияния магнитных полей расстояние между токоподводящими проводниками должно быть минимально возможным. При использовании токоведущих шин ток в каждой паре не должен превышать 20 кА. Для больших значений тока нагрузки используется несколько пар шин или применяется водяное охлаждение. В последнем случае шины выполняются в виде медных труб, через которые прокачивается вода. Возникающее при этом тепловое расширение труб обеспечивает герметичность их соединения в месте стыка.

Вебер — единица измерения магнитного потока (Вб).

Данная единица измерения определяется с помощью электромагнитной индукции. Если пронизывающий контур магнитный поток изменяется со скоростью 1 Вб/с, то в указанном контуре наводится напряжение в 1 В:

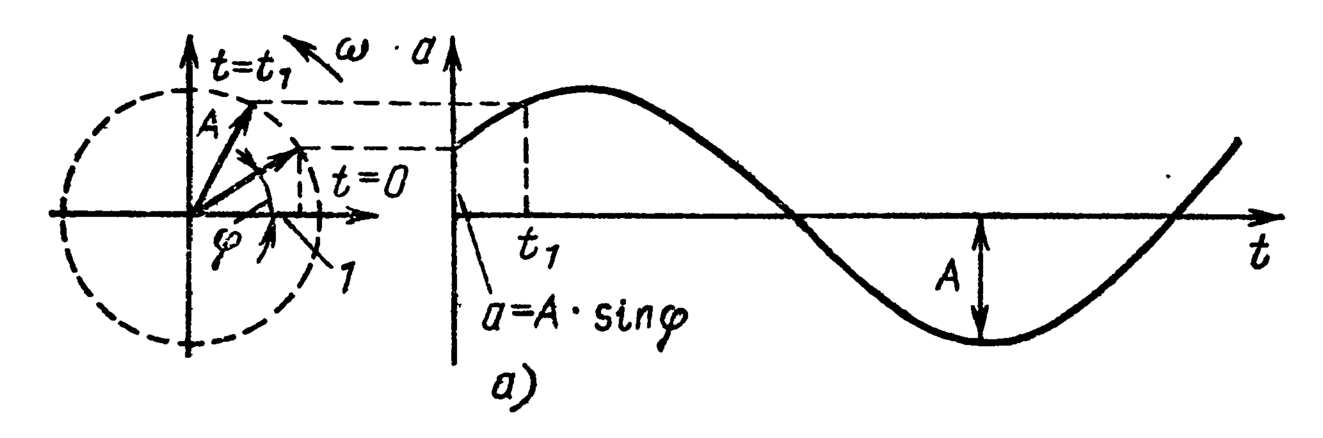
$$1\ \text{Вб} = 1\ \text{В} \cdot 1\ \text{с}.$$

Согласно Международной системе единиц измерений СИ вебер — магнитный поток, создаваемый однородным магнитным полем с индукцией 1 Тл через площадку в 1 м^2, перпендикулярную направлению поля.

Единица измерения названа в честь немецкого физика Вильгельма Вебера (1804—1891) [1, 11].

Векторная диаграмма — графическое отображение изменяющихся по синусоидальному закону величин.

Если взять график изменения, например, напряжения в функции времени (рис. 10, *а*), то можно увидеть, что в любой момент



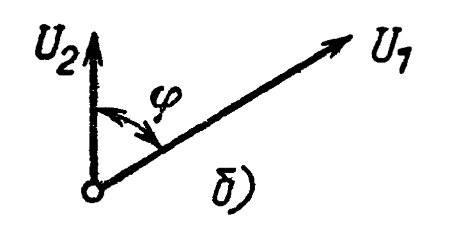


Рис. 10. Векторная диаграмма:

а — мгновенное значение изменяющейся величины; *б* — $U_2<U_1$, U_2 опережает U_1 на угол φ

времени каждому мгновенному значению напряжения соответствует вполне определенный электрический угол. Это означает, что при изменении напряжения происходит также изменение углового положения вектора, модуль которого в выбранном масштабе соответствует значению напряжения в данной точке (рис. 10, *б*). При определении напряжения в сложной электрической цепи модуль вектора соответствует полному падению напряжения, а его проекции на ось абсцисс и ординат — активному и реактивному напряжениям.

С помощью сдвига фаз между током и напряжением в электрической цепи с реактивными элементами, используя правила преобразования векторных величин, можно графическим путем проводить расчеты несложных электрических цепей.

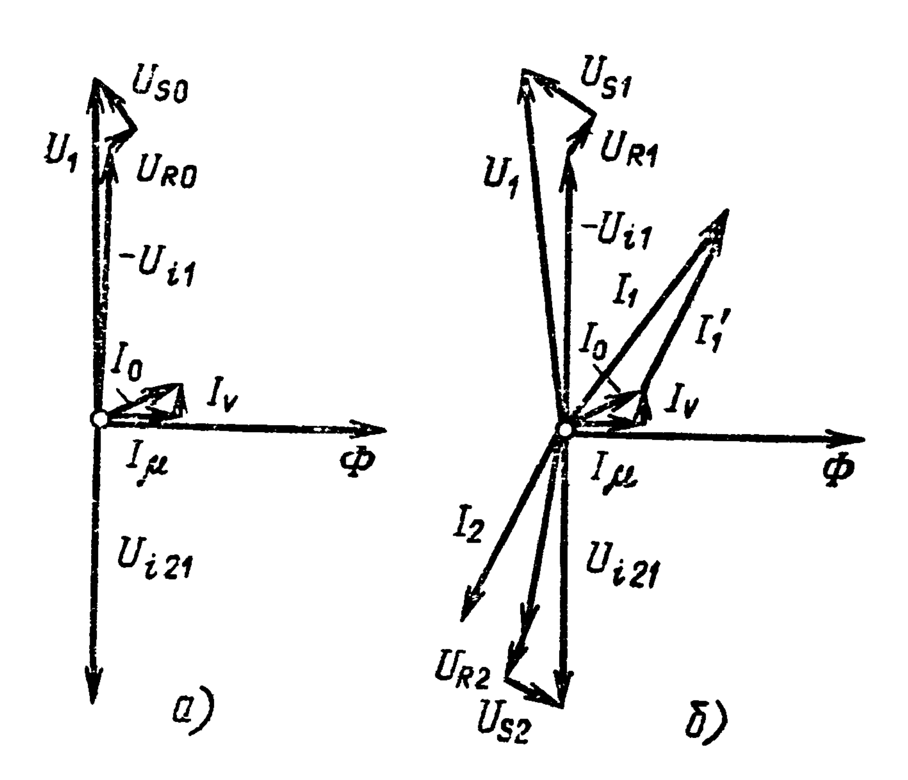


Рис. 11. Векторная диаграмма трансформатора:

а — холостой ход; *б* — индуктивная нагрузка

Векторная диаграмма трансформатора — графическое отображение электрических и магнитных величин, характеризующих работу трансформатора в диапазоне изменения нагрузки от нулевого до максимального значения.

В режиме холостого хода (рис. 11, *а*) ток намагничивания I_μ отстает по фазе на 90° от напряжения U_1 первичной обмотки. Ток $I_{ст}$, пропорциональный потерям в стали, имеет активный характер и совпадает по фазе с напряжением U_1. Полный ток холостого хода

I_0 определяется как геометрическая сумма токов I_μ и $I_{ст}$. Магнитный поток Ф совпадает по фазе с током намагничивания I_μ. Напряжения U_{21} и U_1 находятся в противофазе.

На рис. 11, *б* представлена векторная диаграмма при индуктивной нагрузке: I_2 — ток вторичной обмотки; I_1' — составляющая тока нагрузки в первичной обмотке, суммируемая с током I_0.

Вентилятор — конструктивный элемент вращающейся электрической машины, устанавливаемый на ее валу внутри или снаружи корпуса и предназначенный для охлаждения активных частей машины.

Различают вентиляторы аксиального и радиального типов. В первом случае воздушный поток входит в центральную часть машины и отбрасывается затем к ее периферии. Во втором случае воздушный поток проходит вдоль оси электрической машины. В конструктивном отношении вентиляторы многообразны. Количество и скорость перемещения воздуха относительно охлаждаемых поверхностей зависят от частоты вращения вентилятора. Лопасти изготовляются из стали, алюминиевых сплавов, чугуна и пластмассы.

Верхний слой обмотки (двухслойная обмотка).

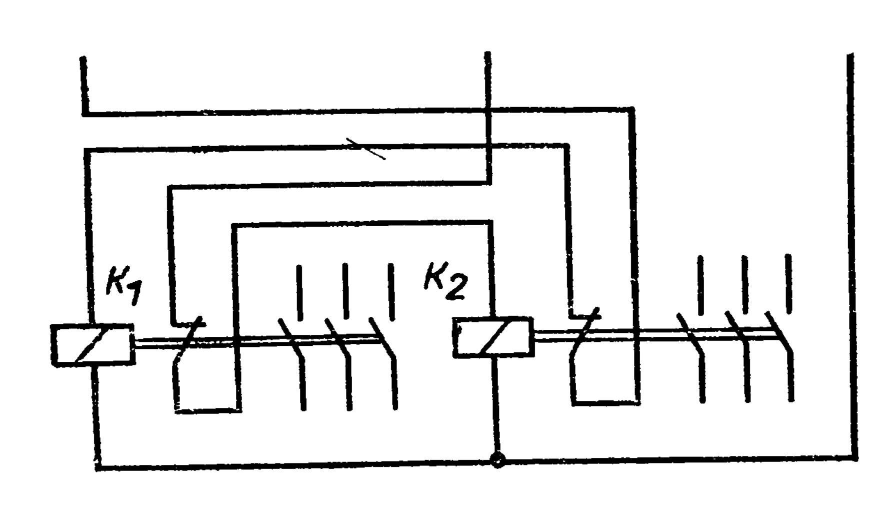


Рис. 12. Взаимная блокировка:

K_1 и K_2 — контакторы

Взаимная блокировка — электрическая блокировка, предотвращающая одновременное включение двух или более контакторов. Такая блокировка применяется в тех случаях, когда из нескольких контакторов во включенном состоянии может находиться либо один, либо другой. Такое управление контакторами характерно при реверсе двигателей, когда один контактор обеспечивает прямое направление вращения. При этом одновременное включение контакторов недопустимо, так как может привести к короткому замыканию.

Для осуществления взаимной блокировки размыкающий блок-контакт одного контактора включен в цепь питания обмотки другого контактора, размыкающий блок-контакт которого в свою очередь включен в цепь питания обмотки первого контактора (рис. 12). Включение любого контактора в этом случае приводит к разрыву цепи питания обмотки другого контактора, который может быть включен только после отключения включенного контактора.

Взаимная индукция — электромагнитная индукция, вызванная

изменением сцепляющегося с контуром магнитного потока, обусловленного электрическими токами в других контурах.

На взаимной индукции основан принцип работы трансформатора. При подключении первичной обмотки трансформатора к сети переменного тока в ней возникает переменный ток, создающий изменяющийся магнитный поток в магнитной системе трансформатора. Магнитный поток пронизывает витки вторичной обмотки трансформатора, вследствие чего в ней наводится ЭДС взаимной индукции. Значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора определяется коэффициентом трансформации [1].

Взаимосвязь линейного и фазного напряжений. В трехфазной сети переменного тока линейное напряжение в $\sqrt{3}$ раз больше фазного напряжения.

Вибрационный регулятор напряжения — электромеханический регулятор, используемый для стабилизации напряжения генератора.

Такой регулятор включается в цепь обмотки возбуждения генератора и шунтирует добавочный резистор с частотой 5—7 Гц. При замкнутом состоянии регулятора через обмотку возбуждения протекает максимальный ток, в разомкнутом состоянии — меньший ток. Изменяя соотношение интервалов времени, в течение которых регулятор замкнут и разомкнут, можно регулировать напряжение, подаваемое на обмотку возбуждения, а следовательно, и протекающий через нее ток. Вибрационные регуляторы напряжения характеризуются незначительным диапазоном регулирования напряжения.

Вихревой ток — ток, возникающий в массивных деталях из металла под действием электромагнитной индукции.

При прохождении переменного магнитного поля через массивные металлические детали в теле детали возникает движение электронов, т. е. вихревой ток. Он появляется как в магнитопроводах вращающихся электрических машин, так и в магнитных системах трансформаторов. Ввиду того что вихревой ток по своему характеру близок к току короткого замыкания, он вызывает сильный нагрев магнитопроводов. Появление вихревого тока приводит, как правило, к нежелательным явлениям: перегревам, изменению механических и магнитных свойств исходных материалов. Однако существуют и такие устройства, действие которых основано на использовании вихревого тока, например демпферы, электромагнитные тормоза.

Возбуждение от постоянных магнитов (способ возбуждения).

Возмущающее воздействие — воздействие какой-либо физической величины на систему автоматического управления, приводящее к отклонению параметра регулирования от заданного значения.

Целью автоматического регулирования является возможно полная компенсация возмущения на систему автоматического регулирования. В электроприводах в качестве возмущающего воздействия выступает момент нагрузки, в генераторах и трансформаторах — ток нагрузки, фазовый сдвиг между током и напряжением, температура активных частей и многое другое.

Волновая обмотка — обмотка якоря коллекторной машины, катушки которой через расстояние, равное двойному полюсному делению, присоединяются к коллекторным пластинам (рис. 13). Различают право- и левоходовые, а также одно- и двухслойные волновые обмотки.

Вольт — единица измерения электрического напряжения (В). Данная единица определяется работой, затрачиваемой на пере-

мещение электрического заряда в электрическом поле. Напряжение между двумя точками однородного проводника составляет 1 В, если при протекании через проводник неизменного по величине тока силой 1 А на указанном участке проводника выделяется мощность в 1 Вт:

$$1\ \text{В} = \frac{1\ \text{Вт}}{1\ \text{А}}.$$

Эта единица измерения названа в честь итальянского физика Алессандро Вольта (1745—1827) [1, 7].

Вольт-амперная характеристика — зависимость напряжения иа зажимах электрической цепи от тока в ней.

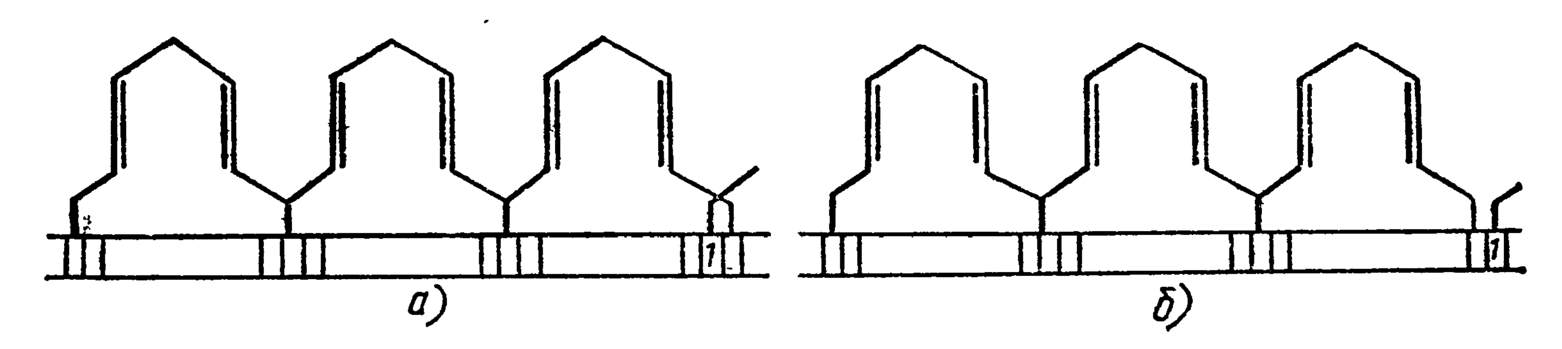


Рис. 13. Волновая обмотка:

а — правоходовая; *б* — левоходовая

При приложении напряжения к участку или элементу электрической цепи в нем протекает электрический ток, значение которого определяется значением приложенного напряжения и внутренним сопротивлением элемента или участка цепи. Зависимость $U=f(I)$ отражает характер изменения тока в цепи от приложенного напряжения с учетом характера внутреннего сопротивления — линейного или нелинейного [1].

Вольтодобавочный трансформатор — трансформатор, у которого одна обмотка включена последовательно с электропотребителем, а другая подключена к питающей сети (рис. 14) [4].

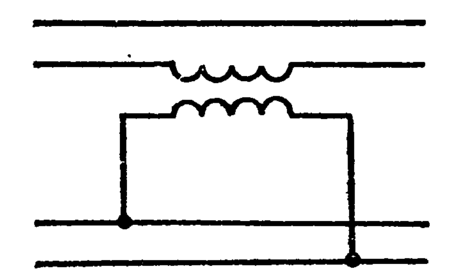


Рис. 14. Вольтодобавочный трансформатор

Вращающееся поле (ВП) — магнитное поле постоянной амплитуды, перемещение которого относительно неподвижной обмотки приводит к появлению в ней ЭДС. В электрических машинах оно вращается относительно якорной обмотки. Следует отметить, что абсолютная частота вращения поля в пространстве не влияет на значение ЭДС.

В р а щ а ю щ е е с я п о л е с и н х р о н н о й м а ш и н ы. При неподвижной обмотке якоря (синхронная машина с внутренними полюсами, нормального исполнения) обмотка возбуждения, подключенная к источнику постоянного тока, создает постоянный магнит-

ный поток. При вращении ротора магнитный поток создает ВП. В машине с внешними полюсами (обращенного исполнения) поток возбуждения всегда неподвижен. В этом случае вращающийся якорь создает ВП.

Вращающееся поле в трехфазных двигателях переменного тока. Если на фазные обмотки статора, расположенные под углом 120° по его окружности, подать трехфазное переменное напряжение, то возникающий при этом в обмотках ток создает результирующее электромагнитное поле. Поле вращается относительно катушек обмотки двигателя с фазным ротором или стержней обмотки двигателя с короткозамкнутым ротором с постоянной частотой вращения и также называется ВП. Частота вращения поля пропорциональна частоте напряжения питания и числу пар полюсов обмотки статора асинхронного двигателя. Это означает, что при частоте напряжения питания, равной 50 Гц, максимальная частота вращения асинхронного двигателя составляет 3000 об/мин ($2p=2$). Направление вращения поля зависит от последовательности чередования фаз питающей сети.

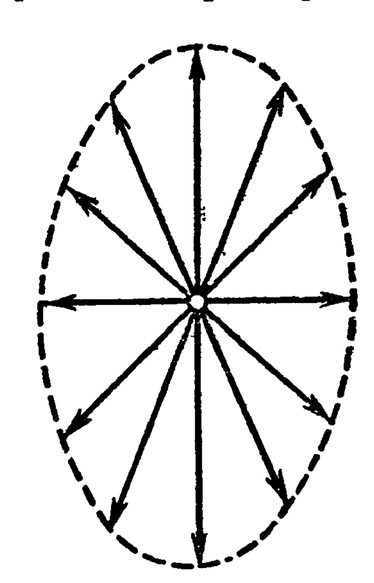


Рис. 15. Вращающееся эллиптическое поле

Для ВП справедлив принцип положения. Это означает, что при наличии двух ВП, направление вращения которых совпадает, образуется результирующее ВП, амплитуда которого равна геометрической сумме амплитуд указанных полей. Если два ВП одинаковой амплитуды вращаются в разные стороны, то результирующее поле имеет пульсирующий характер, т. е. может быть представлено как переменное поле с неизменным положением в пространстве и с амплитудой, изменяющейся по синусоидальному закону.

Вращающееся эллиптическое поле — специальное вращающееся поле, амплитуда которого периодически меняется в некоторых пределах. Поле образуется в результате взаимодействия (сложения) двух вращающихся в разные стороны магнитных полей с различной амплитудой. Конец результирующего вектора магнитной индукции поля перемещается по эллиптической траектории (рис. 15) в отличие от вращающегося поля, конец вектора магнитной индукции которого вращается по круговой траектории (круговое вращающееся поле). Эллиптическое поле возникает и в том случае, если на круговое накладывается вращающееся поле. При этом центры вращения векторов магнитной индукции обоих полей совпадают.

Вращающийся переменный ток (трехфазный переменный ток).

Вращающийся трансформатор (компаундный генератор).

Время гашения дуги (полное время отключения).

Время задержки (постоянная времени).

Время запаздывания — время с момента подачи на вход элемента системы автоматического регулирования тестового сигнала до момента появления сигнала на его выходе.

При графическом представлении переходной функции элемента задержки $U_{вых}=f(t)$ время запаздывания соответствует участку на оси времени, отсчитываемому от начала координат до момента времени, соответствующего появлению сигнала на выходе.

Время запаздывания срабатывания (полное время включения).

Время отключения (полное время отключения).

Время пуска — продолжительность разгона электродвигателя до номинальной частоты вращения после подключения его к питающей сети.

С достаточной для практики точностью время пуска ненагруженного двигателя можно определить следующим образом:

$$t = 4 + 2\sqrt{P},$$

где P — мощность двигателя.

Время разгона — время от момента подачи напряжения на зажимы электродвигателя до момента, когда частота вращения его ротора достигает 0,95 установившегося значения, соответствующего норме.

Время разгона зависит от мощности двигателя, его пусковых характеристик и от момента инерции электропривода. Для обеспечения разгона двигателя необходимо, чтобы на всем диапазоне изменения его частоты вращения момент двигателя превышал момент нагрузки [9].

Время реакции на изменение входного сигнала (время включения полное; время отключения полное).

Время срабатывания (ВС) — интервал времени, в течение которого после подачи на обмотку реле входного сигнала оно переходит из одного устойчивого состояния (включенное или отключенное) в другое устойчивое состояние (отключенное или включенное).

Для реле обычного исполнения ВС должно быть минимально возможным, что позволяет повысить быстродействие систем управления. В селективных системах защиты, предусматривающих приоритетное отключение тех или иных электрических цепей, осуществляют искусственное увеличение ВС тех реле, которые должны срабатывать в последнюю очередь. При отключении реле отсчет ВС начинают с момента исчезновения напряжения, подаваемого на обмотку реле, и заканчивают в момент времени, характеризующийся погасанием дуги на размыкающихся контактах, через которые до этого протекал ток нагрузки. Таким образом, ВС определяется не только быстродействием механизма реле, но и эффективностью гашения дуги на коммутируемых контактах. В свою очередь время гашения дуги является функцией значения напряжения и характера нагрузки коммутируемой цепи. Одним из наиболее распространенных способов увеличения ВС является использование биметаллических расцепителей.

Время торможения — время, в течение которого электропривод после начала торможения приходит в состояние покоя. Время торможения определяется: моментом инерции привода, приведенным к валу двигателя; значением момента и характером нагрузки; частотой вращения, с которой начато торможение; значением тормозного момента, развиваемого тормозным устройством.

Вспомогательная обмотка (однофазный асинхронный двигатель).

Всыпная обмотка — обмотка машин переменного и постоянного тока, секции которой изготовляются на намоточных станках и затем вручную укладываются в открытые или полуоткрытые пазы.

При укладке в пазы всыпной обмотки следует проявлять осторожность во избежание повреждения пазовой и витковой изоляции. После укладки стороны секции в паз последний закрывается пазовой изоляцией. После укладки обмотки в пазы производится изолирова-

ние и бандажирование лобовых частей обмотки. Бандаж позволяет повысить механическую прочность лобовых частей. В заключение производится электрическая и визуальная проверка обмотки, а затем пропитка компаундом и сушка обмотки.

Вторичная обмотка трансформатора — обмотка трансформатора, от которой отводится энергия преобразованного переменного тока. Вторичная обмотка может быть обмоткой высшего и низшего напряжения соответственно в повышающем и понижающем трансформаторах.

Все обозначения и параметры, относящиеся к вторичной обмотке, записываются с индексом 2, например i_2, w_2, R_2, U_2, где i_2 — ток; w_2 — количество витков; R_2 — активное сопротивление; U_2 — напряжение.

Вторичная обмотка трансформатора электрической печи — обмотка низшего напряжения трансформатора электрической печи.

Первичная обмотка высшего напряжения трансформатора в об-

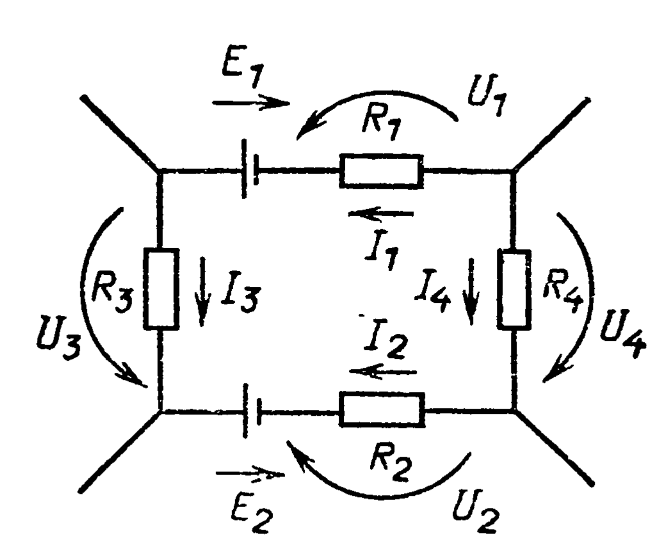


Рис. 16. Второй закон Кирхгофа:

I — ток; *U* — напряжение; *R* — сопротивление; *E* — источник ЭДС

щем случае состоит из нескольких цилиндрических катушек, между которыми уложена электроизоляционная бумага. Вторичная обмотка выполняется из медного провода большего сечения с небольшим количеством витков и рассчитана на ток до 110 кА. Одновитковые вторичные обмотки выполняются в виде разрезного медного цилиндра. Для получения более высокого напряжения на вторичной обмотке цилиндры соединяются последовательно. Для увеличения выходного тока используется и параллельное соединение секций вторичной обмотки.

Второй закон Кирхгофа — алгебраическая сумма падений напряжения в любом замкнутом контуре равняется алгебраической сумме ЭДС вдоль того же контура.

Алгебраическая сумма падений напряжений и ЭДС в замкнутом контуре также равна нулю. При составлении уравнения по второму закону Кирхгофа для замкнутого контура (рис. 16) направление его обхода выбирается условно (по или против часовой стрелки).

При обходе по часовой стрелке уравнение может быть записано в следующем виде:

$$+E_1 + (-U_1) + (+U_4) + (+U_2) + (-E_2) + (-U_3) = 0,$$

при обходе против часовой стрелки — в виде

$$-E_1 + (U_3) + (+E_2) + (-U_2) + (-U_4) + (+U_1) = 0.$$

Напряжение имеет положительный знак, если его полярность

совпадает с направлением обхода контура, и отрицательный в противном случае.

При изменении значения напряжения на зажимах хотя бы одного источника ЭДС указанное равновесие напряжений в контуре сохраняется за счет изменения тока в нем и соответствующего изменения падений напряжений на резисторах.

Выводы электродвигателя — выводы, предназначенные для подключения электродвигателя к питающей сети.

Выводы служат также для подключения различной пусковой и регулирующей аппаратуры и измерительных элементов систем защиты. В простейшем случае выводы подключаются к питающей сети через контакторы, автоматы защиты и т. п. Трехфазные электродвигатели переменного тока подключаются посредством четырехжильного кабеля, одна из жил которого предназначена для присоединения к корпусу. Электродвигатели постоянного тока подключаются с помощью двух- или трехжильного кабеля в зависимости от типа сети постоянного тока. Сечение жил питающего кабеля и установка срабатывания тепловых реле защиты выбираются в соответствии с номинальной мощностью электродвигателя. Для присоединения к электродвигателю проводов внешней сети используется клеммная коробка. На клеммы этой коробки выводятся либо все выводы обмоток, либо часть их. В трехфазных электродвигателях наличие шести выводов позволяет соединять обмотку статора по схеме звезда или треугольник. В этом случае схема соединения обмотки статора определяется номинальным значением напряжения питания. Так, например, при фазном напряжении питающей сети 127, 220 и 380 В и фазном напряжении обмотки статора 220 В используются схемы соединения: для первого значения напряжения — треугольник, для второго — звезда, для третьего не подходит ни одна из схем соединения. В трехфазных асинхронных двигателях с фазным ротором клеммная коробка помимо выводов обмотки статора содержит выводы обмотки ротора. В цепь этой обмотки не включаются коммутационные аппараты типа автоматов защиты или предохранители.

Для облегчения пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором иногда используются переключатели обмотки статора со схемы звезда на схему треугольник и обратно. При реализации в таких схемах реверса схема коммутации обмотки статора существенно усложняется. При регулировании частоты вращения трехфазного двигателя посредством переключения числа пар полюсов обмотки статора количество выводов в клеммной коробке значительно увеличивается.

Выключатель нагрузки — выключатель низкого напряжения, предназначенный для отключения электропотребителей с током не выше 1,25 номинального значения. Выключатель должен выдерживать токи короткого замыкания.

К выключателям нагрузки относятся магнитные пускатели и автоматы для питания электродвигателей, а также контакторы для питания схем управления и регулирования. Конструктивные особенности выключателей зависят от характера изменения нагрузки и условий эксплуатации. В выключателях используются контакты ножевого типа, катящиеся и нажимные контакты. Включение выключателей осуществляется с помощью исполнительных органов различного конструктивного типа (кнопок, рычагов и т. д.) [5].

Выключатель перегрузки — силовой выключатель, предназначенный для автоматического отключения нагрузки при недопустимом

превышении в ней тока. На практике ток срабатывания такого выключателя составляет 1,25 номинального тока.

Выключатель холостого хода (разъединитель).

Выпадение из синхронизма — нарушение устойчивой параллельной работы синхронной машины с сетью при синхронной частоте вращения, в результате которого машина начинает вращаться с асинхронной частотой вращения.

Выпадение из синхронизма означает потерю устойчивости синхронной машины, запас которой определяется углом θ сдвига фаз напряжения и ЭДС синхронной машины. Для синхронных машин с явнополюсным ротором указанный угол не должен превышать 90°, для синхронных машин с неявнополюсным ротором $\theta < 75°$. При выпадении из синхронизма в якорной обмотке синхронной машины происходит резкое увеличение тока, что приводит к срабатыванию токовой защиты [8].

Выпрямительный трансформатор — трансформатор специальной конструкции, предназначенный для питания различных выпрямителей переменного тока. Такие трансформаторы используются в маломощных блоках питания различных приборов и аппаратов, а также в силовых электроэнергетических установках — тяговых подстанциях, электрических плавильных печах и т. д. При определении нагрева трансформаторов следует учитывать, что действующее значение фазного тока не соответствует значению выпрямленного тока. В некоторых схемах выпрямителей постоянная составляющая тока протекает в фазных обмотках трансформаторов, что вызывает подмагничивание магнитной системы. Для снижения уровня пульсаций выпрямленного и переменного тока используются схемы многофазных выпрямителей со специальными схемами соединения обмоток трансформаторов [4].

V-образная характеристика (режим синхронного компенсатора) — зависимость тока в обмотке якоря синхронной машины от тока возбуждения при неизменных активной мощности, напряжении на выводах обмотки якоря и частоте вращения [8].

Г

Гальваническая развязка — один из способов предотвращения попадания в цепь нагрузки с пониженным напряжением более высокого напряжения источника питания. Для реализации гальванической развязки наиболее часто используется развязывающий трансформатор, у которого отсутствует гальваническая связь между первичной и вторичной обмотками.

Гашение дуги — совокупность технических средств, предназначенных для гашения электрической дуги, возникающей при коммутации электрических цепей и повреждении изоляции.

Образование электрической дуги приводит к увеличению механической и тепловой нагрузки на активные и конструктивные материалы электрооборудования, что нередко приводит к выходу его из строя. Для устранения этого недостатка широко используются устройства гашения дуги, с помощью которых либо вообще исключается появление дуги, либо сокращается время ее горения. К основным устройствам гашения дуги относятся дугогасительные камеры с магнитным и воздушным дутьем и деионизационные дугогаситель-

ные камеры. В электрических цепях гашение дуги осуществляется также при помощи короткозамыкателей, шунтирующих поврежденный участок электрической цепи. Уменьшение времени горения дуги производится посредством увеличения ее длины, интенсивного отвода тепла, выделяемого электрической дугой, а также отключения поврежденного участка цепи.

Гашение дуги в функции тока. В силовых выключателях высокого напряжения дугогасительная камера выполняется таким образом, что гашение тока как малого, так и большого значения осуществляется в момент перехода коммутируемого тока через нулевое значение.

Гашение дуги, не зависящее от тока, — процесс гашения электрической дуги в коммутационном аппарате с воздушной дугогасительной системой.

В указанных коммутационных аппаратах снижение времени горения дуги осуществляется с помощью направленного потока воздуха, перемещающегося с некоторой скоростью относительно дуги. Скорость перемещения воздуха определяется конструктивными особенностями коммутационного аппарата и не зависит от значения тока коммутируемой электрической цепи. При больших значениях тока гашение дуги происходит в момент перехода тока через нулевое значение, при малых значениях тока — в любой момент времени.

Гашение дуги переменного тока — прекращение процесса горения электрической дуги при переключениях коммутационных аппаратов и пробое электрической изоляции.

В цепях переменного тока гашение дуги осуществляется в момент перехода тока через нулевое значение. Если в промежутке между разомкнувшимися контактами сохраняются носители электрических зарядов — ионы, то горение дуги на контактах возобновляется после достижения напряжением некоторого значения. При деионизации воздушного промежутка дуга отсутствует. Указанный процесс возобновления дуги происходит с двойной частотой переменного напряжения.

Для снижения вероятности возобновления дуги на разомкнувшихся контактах производится активная деионизация воздушного промежутка с помощью дугогасительных камер и приспособлений.

Генератор (Г) — вращающаяся электрическая машина, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую.

В зависимости от рода тока и напряжения различают Г постоянного тока, одно- и многофазные Г переменного тока. Принцип работы Г основан на законе электромагнитной индукции. В конструктивном отношении Г отличаются большим разнообразием [2].

Генератор (Г) постоянного тока — вращающаяся электрическая машина постоянного тока, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую энергию постоянного тока.

При вращении с помощью первичного двигателя ротора Г постоянного тока в магнитном поле, образованном обмоткой возбуждения, в обмотке якоря в соответствии с законом электромагнитной индукции наводится ЭДС. Максимальное значение ЭДС будет иметь место при расположении стороны катушки под магнитным полюсом. При пересечении обмоткой якоря оси геометрической нейтрали ЭДС обращается в нуль, при дальнейшем повороте ротора изменяет знак на противоположный. Для выпрямления возникающего в обмотке якоря переменного напряжения используется коллектор, благодаря

чему со щеток Г снимается напряжение постоянного тока с незначительным уровнем пульсаций. Значение напряжения на зажимах обмотки якоря определяется частотой вращения и током возбуждения. Выходные характеристики Г зависят от способа возбуждения (электромагнитное или от постоянных магнитов) и от схемы включения обмотки возбуждения по отношению к обмотке якоря. На практике используются Г постоянного тока с параллельным, последовательным и смешанным электромагнитным возбуждением [2].

Генератор постоянного тока независимого возбуждения — генератор (Г) постоянного тока, обмотка возбуждения которого питается от постороннего источника тока (рис. 17).

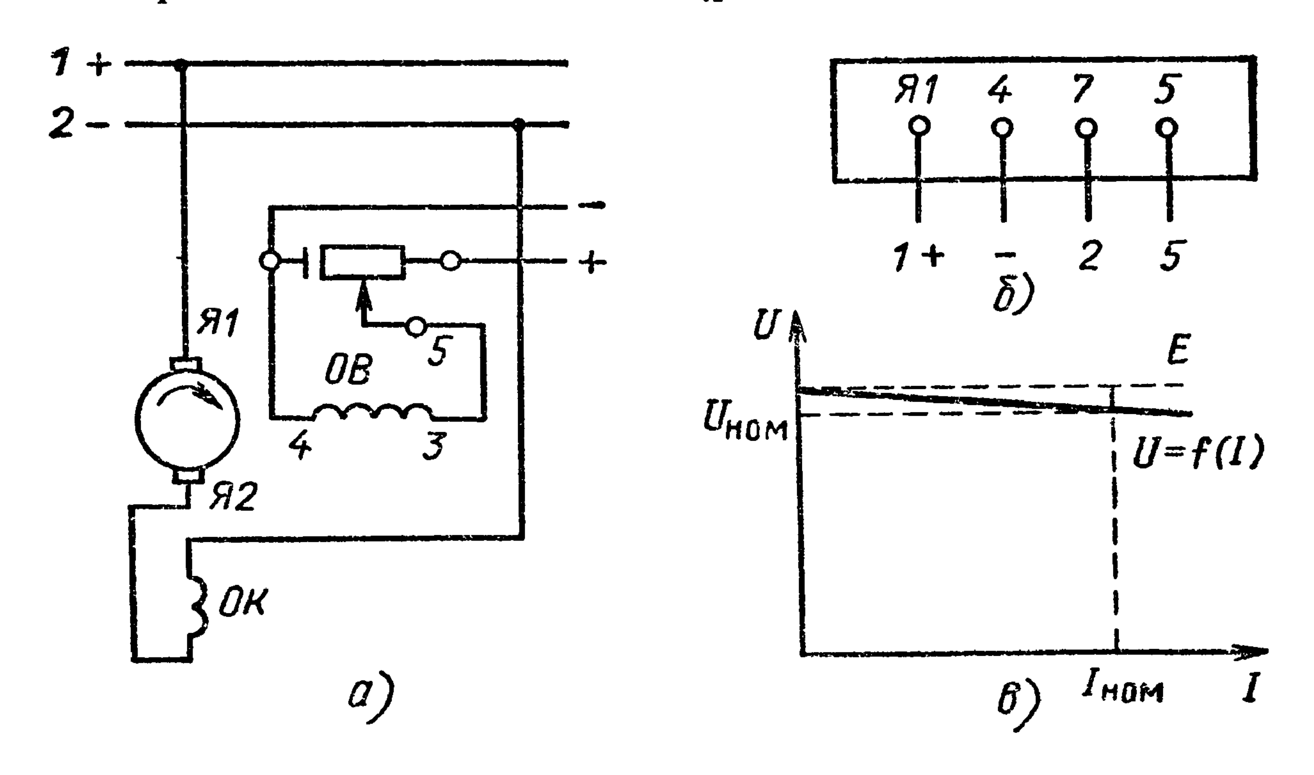


Рис. 17. Генератор постоянного тока независимого возбуждения:
а — схема включения; *б* — подключение выводов; *в* — нагрузочная характеристика

Для уменьшения тока возбуждения и мощности постороннего источника тока обмотка возбуждения Г выполняется из тонкого провода и имеет бóльшое количество витков. При неизменных частоте вращения и потоке возбуждения выходное напряжение Г зависит только от значения нагрузки. При увеличении нагрузки напряжение снижается вследствие падения напряжения на активных сопротивлениях обмотки якоря и компенсационной обмотки. Нагрузочная характеристика $U=f(I)$ генератора постоянного тока независимого возбуждения (рис. 17, *в*) имеет падающий характер. В режиме короткого замыкания через обмотку якоря протекает большой ток. Генератор нечувствителен к обратному току, поскольку он не оказывает влияния на поток возбуждения. С помощью переменного резистора поток возбуждения может изменяться от минимально возможного до максимального значения, приводящего к насыщению магнитопровода. Это позволяет изменять выходное напряжение Г в широких пределах. Генераторы постоянного тока независимого возбуждения находят применение в регулируемом электроприводе, выполненном по схеме Леонардо (система Г—Д) [2].

Генератор постоянного тока параллельного возбуждения — генератор (Г) постоянного тока, обмотка возбуждения которого подключена параллельно обмотке якоря.

В Г реализуется самовозбуждение. Для изменения потока возбуждения последовательно с обмоткой возбуждения включен регулировочный реостат (рис. 18, *а*). На рис. 18, *б* приведена нагрузочная характеристика $U=f(I)$ генератора, из которой следует, что при увеличении нагрузки происходит снижение выходного напряжения. Изменение напряжения обусловлено увеличением падения напряжения на обмотке якоря и возбуждения от тока нагрузки, а также снижением тока возбуждения. При перегрузке имеет место резкое снижение напряжения на обмотке якоря. Одновременно из-за снижения напряжения происходит уменьшение тока в обмотке якоря. В режиме короткого замыкания ток возбуждения и напряжение на

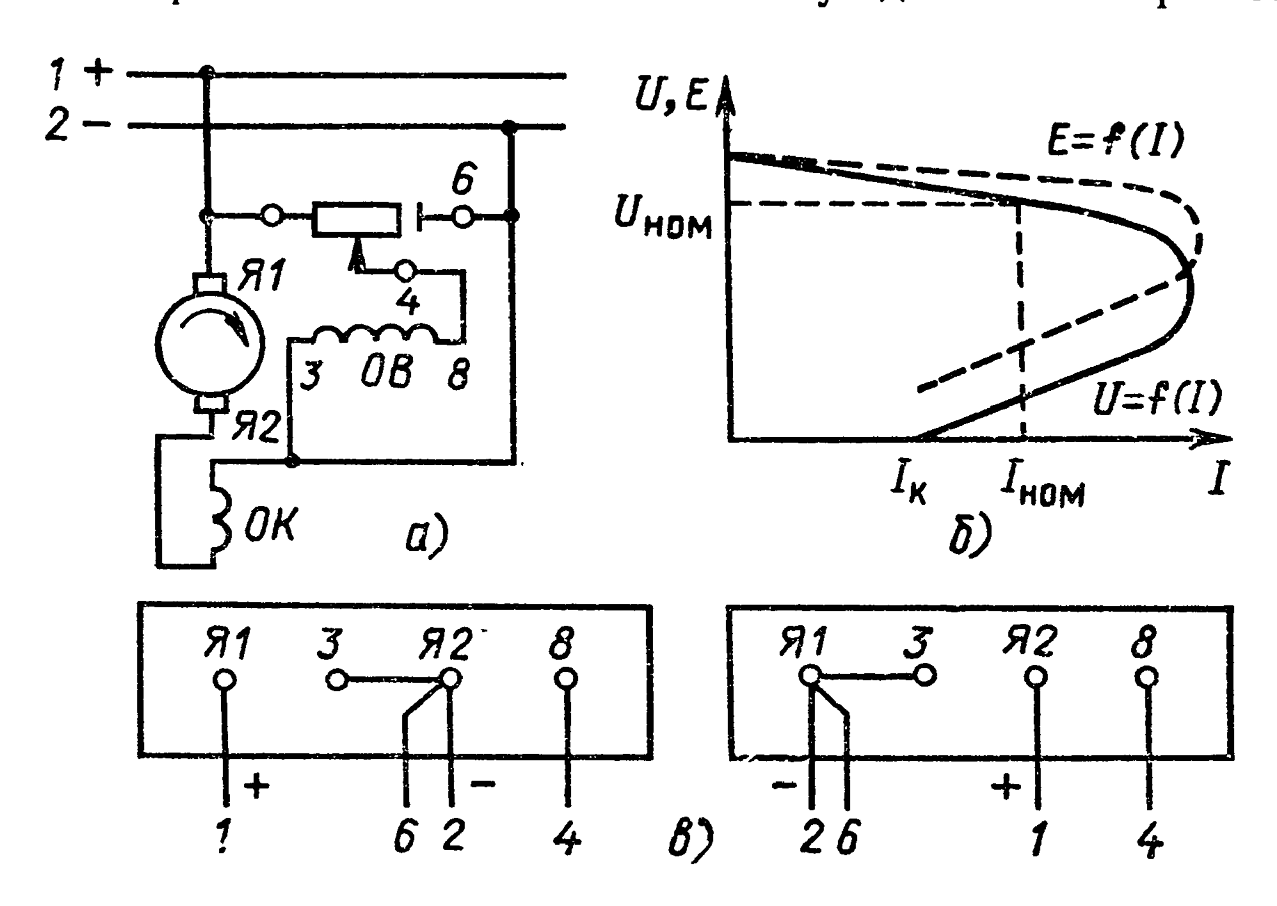


Рис. 18. Генератор постоянного тока параллельного возбуждения: *а* — схема включения; *б* — нагрузочные характеристики; *в* — подключение выводов

обмотке якоря близки к нулю. Протекающий через обмотку якоря ток в этом случае определяется остаточным намагничиванием магнитной системы Г. Таким образом, до номинальной нагрузки Г имеет жесткую нагрузочную характеристику, падающий характер которой проявляется только при перегрузке, причем в этом режиме происходит автоматическое ограничение тока короткого замыкания. Генераторы постоянного тока параллельного возбуждения наиболее часто используются в качестве возбудителей синхронных генераторов, устанавливаемых в системах электроснабжения судов, самолетов и автомобилей. При изменении направления вращения Г обеспечение требуемой полярности выходного напряжения достигается пересоединением зажимов в клеммной коробке (рис. 18, *в*) [2].

Генератор постоянного тока последовательного возбуждения — генератор (Г) постоянного тока, в котором обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря.

Генератор с последовательным возбуждением работает в режиме самовозбуждения. Для регулирования выходного напряжения генератора параллельно обмотке возбуждения включается регулятор тока возбуждения (рис. 19, *а*). Наиболее полно особенности Г с пос-

ледовательным возбуждением иллюстрируются с помощью нагрузочной характеристики $U=f(I)$ и характеристики холостого хода $E=f(I)$ (рис. 19, *б*). В режиме холостого хода выходное напряжение определяется остаточным намагничиванием магнитной системы и имеет малую величину. При увеличении тока нагрузки происходит увеличение тока и потока возбуждения, а следовательно, и рост напряжения на обмотке якоря. При превышении тока нагрузки номинального значения увеличение напряжения на обмотке якоря прекращается или даже происходит его уменьшение ввиду насыщения магнитной системы генератора. При коротком замыкании поток

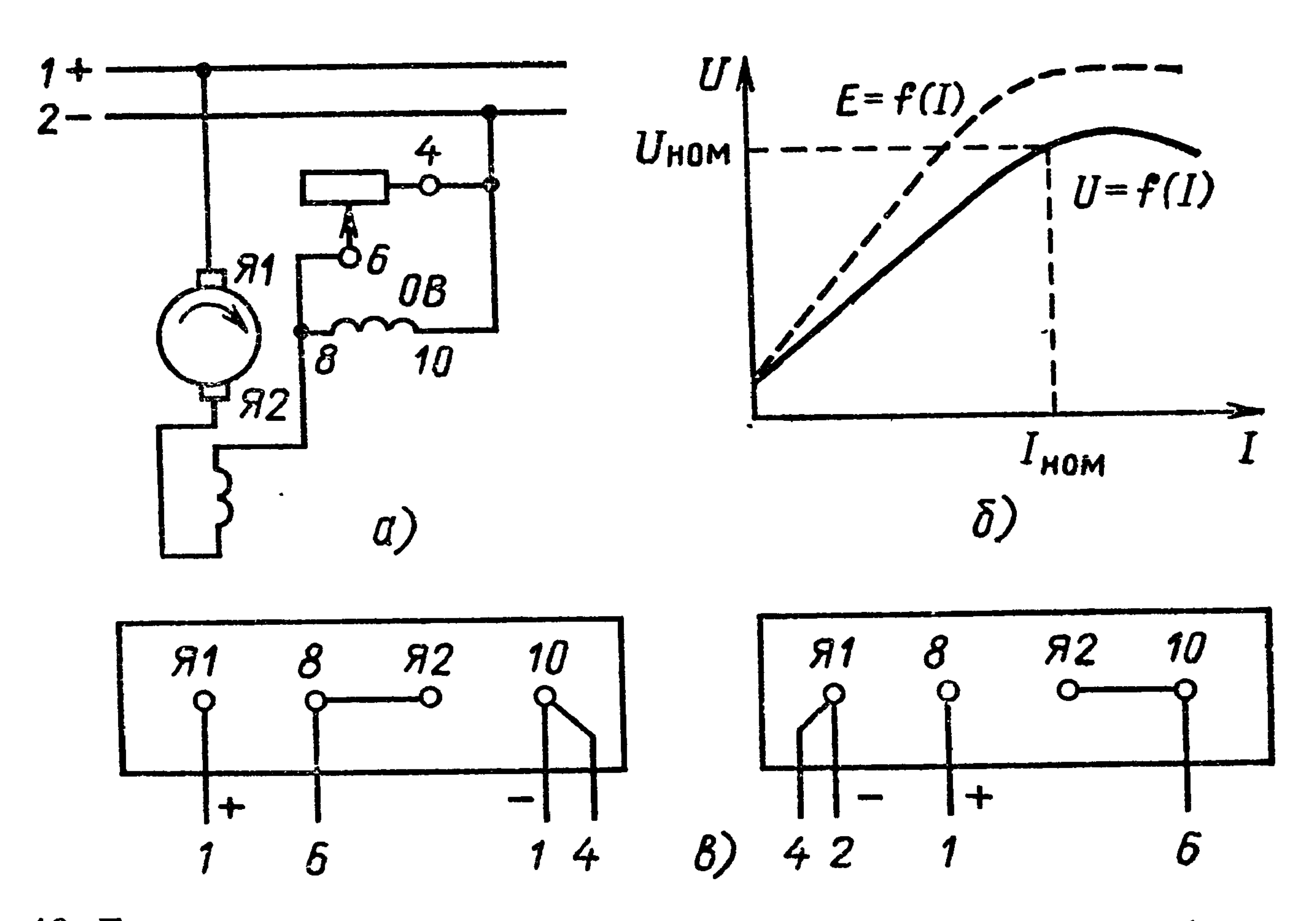


Рис. 19. Генератор постоянного тока последовательного возбуждения:

а — схема включения; *б* — нагрузочные характеристики; *в* — подключение выводов для правого (вверху) и левого направления вращения ротора

возбуждения имеет максимальное значение, что приводит к перегреву генератора. Ввиду сильной зависимости выходного напряжения от тока нагрузки генераторы с последовательным возбуждением не получили широкого распространения и используются в основном в тех случаях, когда значение нагрузки меняется мало, например для питания только фар автомобиля. На рис. 19, *в* представлены два варианта подключения генератора к сети постоянного тока, получаемые переключением в коробке выводов [2].

Генератор постоянного тока смешанного возбуждения — генератор с двумя обмотками возбуждения, одна из которых соединена последовательно с цепью якоря (рис. 20, *а*).

Обмотки возбуждения *ОВ1*, *ОВ2* выполняются обычно таким образом, что параллельная обмотка возбуждения создает бо́льшую часть общего потока возбуждения. При этом магнитный поток последовательной обмотки возбуждения *ОВ2* может суммироваться с потоком возбуждения параллельной обмотки *ОВ1* или, в специальном случае, вычитаться из него. В режиме холостого хода генератор смешанного возбуждения ведет себя как генератор с параллельным возбуждением. В режиме нагрузки падение напряжения, обусловлен-

ное протеканием тока через обмотку якоря, компенсируется увеличением тока возбуждения последовательной обмотки. При соответствующем подборе числа витков указанных обмоток возбуждения увеличение нагрузки может сопровождаться повышением напряжения на обмотке якоря (прямая *2* на рис. 20, *б*). Указанные нагрузочные характеристики получаются при согласном включении обмоток возбуждения. При встречном включении последних нагрузочная характеристика имеет падающий характер (кривая *3* на рис. 20, *б*), что используется в сварочных генераторах.

Генераторы постоянного тока смешанного возбуждения используются для питания потребителей со значительными колебаниями потребляемой мощности, например на морских судах, а также в качестве тяговых генераторов. Данные генераторы иногда называют *генераторами с компаундированием* [8].

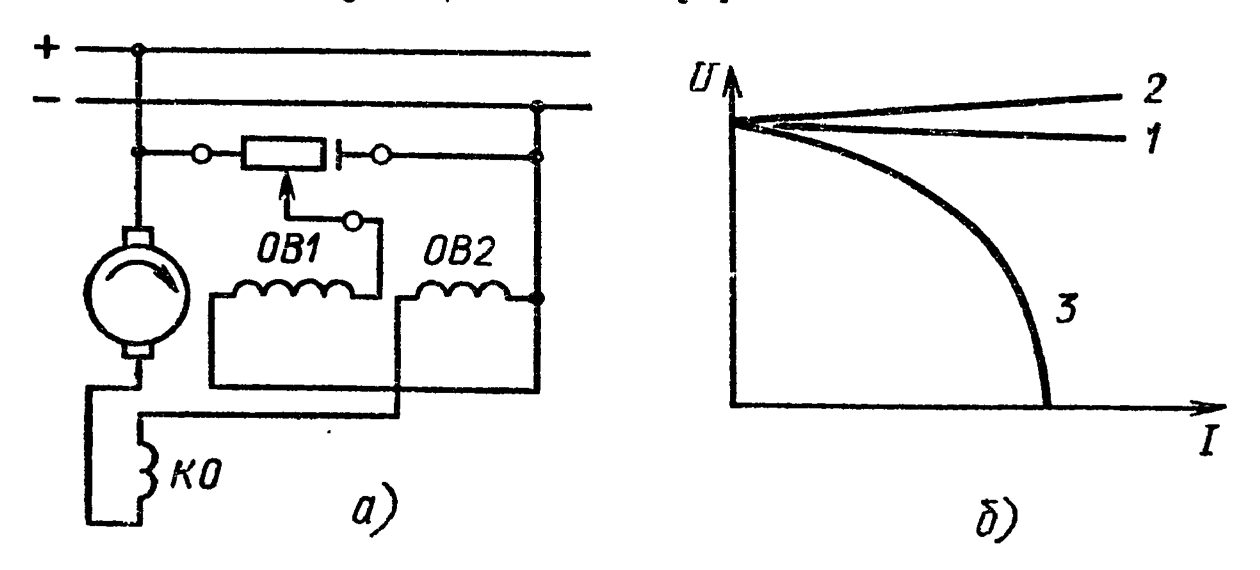


Рис. 20. Генератор постоянного тока смешанного возбуждения:
а — схема включения; *б* — нагрузочные характеристики

Генри (Гн) — индуктивность такого контура, с которым сцеплен магнитный поток 1 Вб, когда по контуру протекает ток силой 1 А.

Генри характеризует также магнитную проводимость участка магнитной системы, обратно пропорциональную его магнитному сопротивлению:

$$1\ \text{Гн} = \frac{1\ \text{Вб}}{1\ \text{А}} = \frac{1\ \text{В}\cdot\text{с}}{1\ \text{А}}.$$

Единица названа в честь американского физика Джозефа Генри (1797—1878) [1].

Геометрическая нейтраль — зона обмотки якоря машины постоянного тока, образованная витками, в которых не наводится ЭДС от потока возбуждения (рис. 21, *а*). При установке щеток на оси геометрической нейтрали обеспечивается безыскровая коммутация обмотки якоря. На рис. 21, *б* коллекторные пластины *1*, *2* присоединены к выводам секции *В* обмотки якоря и замыкаются щеткой *5*. При смещении последней влево или вправо в момент коммутации возникает искрение.

Герц (Гц) — единица измерения частоты. 1 Гц — это частота периодического процесса, при котором совершается один цикл за 1 с:

$$1\ \text{Гц} = \frac{1}{1\ \text{с}}.$$

Единица названа в честь немецкого физика Генриха Герца (1857—1894) [7].

Гистерезисный двигатель (ГД) — синхронная машина (с гладким, цилиндрическим или дисковым ротором) без обмотки возбуждения и постоянных магнитов, вращающий момент которой создается в результате взаимодействия магнитного поля статора и поля остаточного намагничивания ротора. Вращающий момент во время пуска создается за счет перемагничивания ротора.

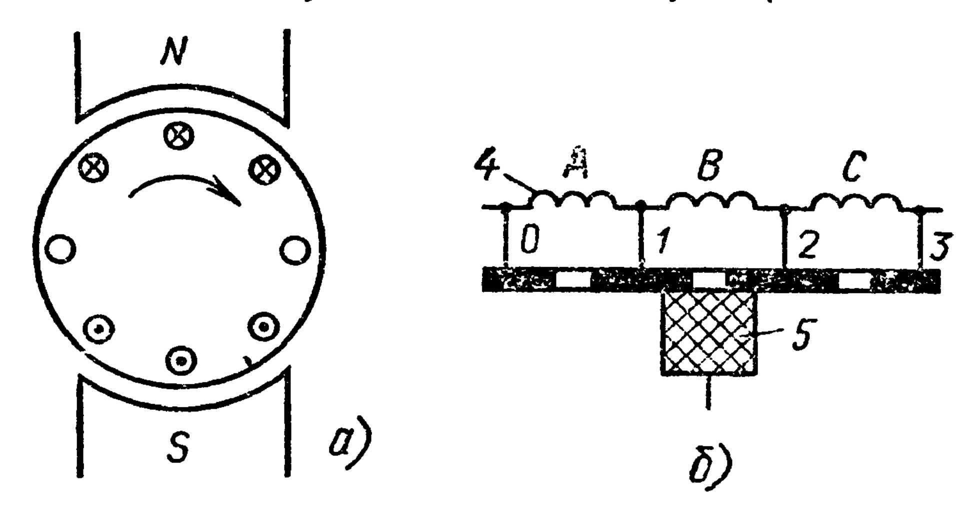


Рис. 21. Геометрическая нейтраль:

0—3 — пластины коллектора; *4* — обмотка; *5* — щетки

Конструктивно ГД похож на одно- или трехфазный асинхронный двигатель. Довольно часто ГД имеют такую же конструкцию, как и двигатель с расщепленными полюсами. Иногда на поверхности ротора закрепляется шихтованное кольцо из магнитомягкого материала (сплавы железа, легированные кобальтом, ванадием). Однофазный ГД развивает пусковой момент и при неподвижном роторе, который может вращаться как с синхронной, так и с асинхронной частотой. При пуске ГД разгоняется в асинхронном режиме с последующим втягиванием в синхронизм. На практике ГД может использоваться для привода механизмов с большим моментом ичерции. Маломощные ГД нашли применение в проигрывателях, магнитофонах и устройствах автоматической обработки информации [3].

Рис. 22. Комбинации схем соединения обмоток трансформатора

Главный поток возбуждения (последовательное возбуждение).

Годограф (амплитудно-частотная характеристика).

Группа соединения обмоток трансформатора — угловое смещение векторов линейных ЭДС обмоток среднего и низшего напряжений по отношению к векторам соответствующих ЭДС высшего напряжения.

При выполнении обмоток за основу берутся схемы соединения звезда и треугольник. Более редко используется схема зигзаг. Наиболее часто встречаются следующие комбинации: УУ, УД, УZ и ДД, ДZ, ДУ. Указанные комбинации могут быть получены с помощью схем, представленных на рис. 22. Применяемая группа обозначается

соответствующим номером. Под номером группы понимается время на часах, минутная стрелка которых совмещена с ЭДС обмотки высшего напряжения и установлена на цифре 0 (12), а часовая совмещена с одноименной ЭДС низшего напряжения. При этом в трехфазных трансформаторах о номере группы судят по углу между линейными ЭДС.

В обозначении трансформатора номер группы соединения указывается после обозначения схемы соединения его обмоток, например УУ-0, УД-11 и т. д. Номера групп соединения оговариваются соответствующим ГОСТ и включают 12 наименований: УУ-0(6), ДД-3(6), ДZ-0(6), УД-5(11), ДУ-5(11), УZ-5(11). Знание групп соединений особенно важно при включении трансформаторов на параллельную работу.

Д

Давление щетки (щетка).

Датчик — элемент системы автоматического регулирования, предназначенный для определения истинного значения регулируемой величины.

В замкнутых системах автоматического регулирования датчики включаются в цепь обратной связи и его выходной сигнал сравнивается с задающим сигналом. При наличии рассогласования между сигналами регулятор формирует управляющее воздействие, приложенное к объекту регулирования, с целью устранения рассогласования. Различают аналоговые и цифровые датчики, причем первые подразделяются на датчики непрерывного и дискретного типов. На практике датчики часто используются в сочетании с преобразователями различного типа, предназначенными для согласования его сигналов с сигналами других элементов системы автоматического регулирования, а также для визуального контроля измеряемой величины с помощью измерительных приборов.

Датчик положения (вентильная машина).

Датчик температуры — элемент электрической цепи, электрическое сопротивление или форма которого являются функцией температуры. К ним относятся терморезисторы и биметаллические реле. В масляных трансформаторах и в генераторах датчики температуры размещаются соответственно в масляном баке или в обмотках генератора. Для измерения температуры используются также термопары и термисторы.

Двигатель Дери — репульсионный двигатель с двойным комплектом щеток (рис. 23), из которых один комплект жестко зафиксирован, а другой может перемещаться по поверхности коллектора относительно первого. Каждая щетка из неподвижного комплекта гальванически соединена с соответствующей щеткой подвижного

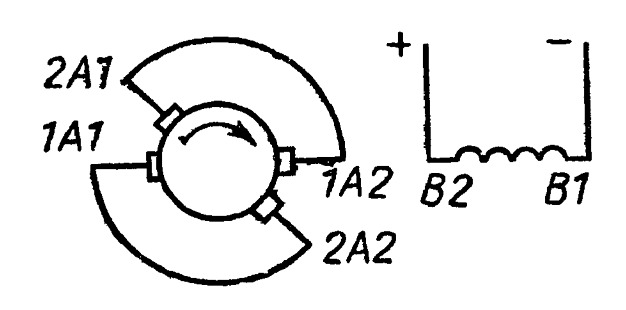


Рис. 23. Двигатель Дери:

1A1, 2A2 — неподвижные щетки; *2A1, 1A2* — подвижные щетки; *B1, B2* — обмотка возбуждения

комплекта, вследствие чего размер соединительных проводов должен обеспечивать их взаимное перемещение. В двигателе Дери в отличие от коллекторных двигателей переменного тока с диаметральным или хордовым расположением щеток облегчаются условия коммутации, вследствие чего указанные двигатели могут выполняться на большую мощность с большим диапазоном регулирования частоты вращения. Двигатели Дери отличаются высокой точностью регулирования частоты вращения и находят применение в специальных электроприводах мощностью 1—2 кВт [2].

Двигатель постоянного тока (ДПТ) — машина постоянного тока, предназначенная для преобразования электрической энергии постоянного тока в механическую.

При подключении ДПТ к питающей сети постоянного тока через обмотки якоря и возбуждения протекает постоянный ток, создающий собственные магнитные потоки. В результате взаимодействия потоков образуется вращающий момент. Как показано на рис. 24, *а*, при заданном направлении тока в обмотке якоря в соответст-

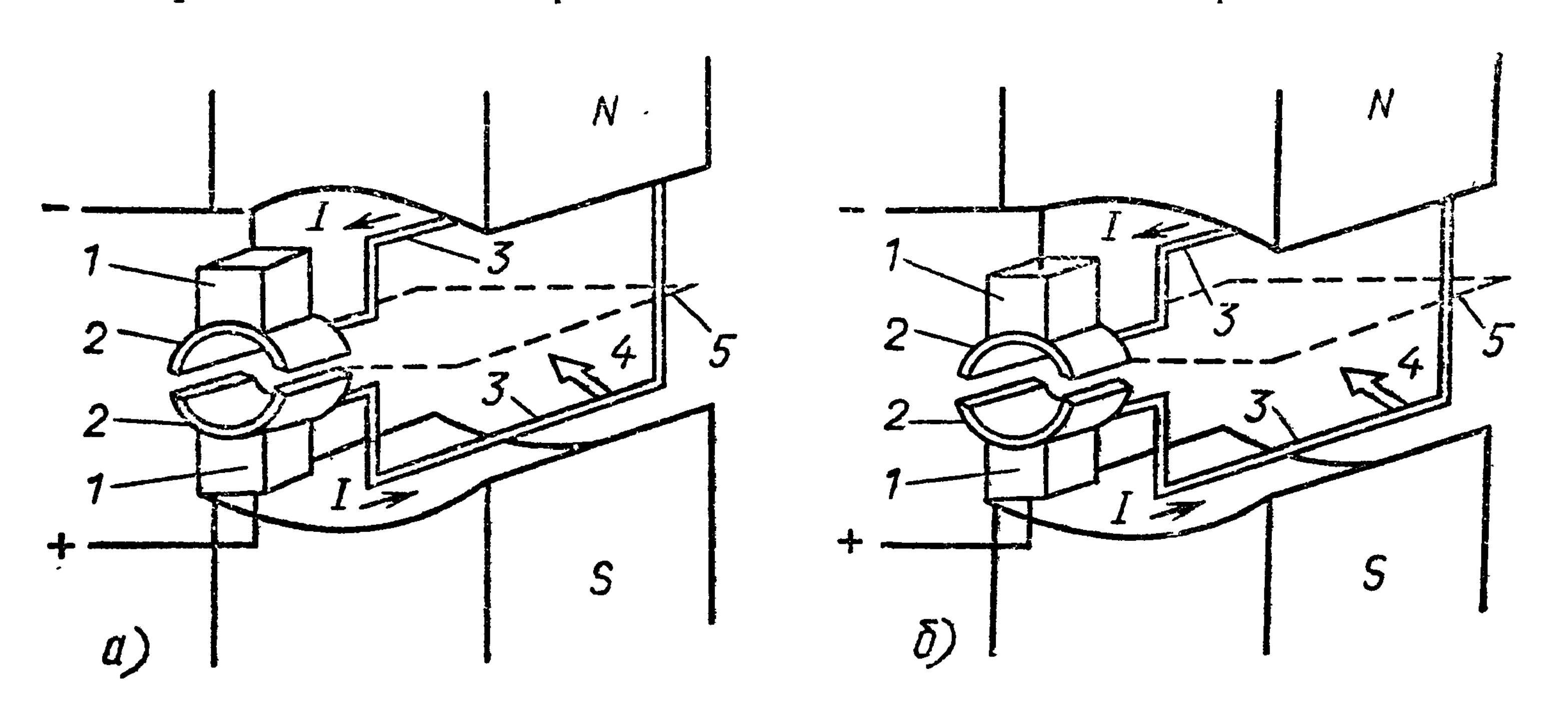


Рис. 24. Двигатель постоянного тока:

1 — щетки; *2* — полукольца коллектора; *3* — активные стороны рамки; *4* — направление вращения ротора; *5* — нейтральная зона; *N*, *S* — главные полюсы; *I* — ток в рамке

вии с правилом левой руки возникающий вращающий момент приводит к вращению ротора ДПТ против часовой стрелки. Для сохранения направления тока в обмотке якоря при повороте его на 180°, когда магнитный поток возбуждения пронизывает обмотку якоря в другом направлении, используется коллектор. Это позволяет сохранить знак вращающего момента, а следовательно, и направление вращения ротора ДПТ. Для изменения направления вращения ДПТ необходимо изменить направление тока в обмотке якоря или возбуждения.

Регулирование частоты вращения ДПТ осуществляется путем изменения напряжения питания, тока в обмотке якоря или возбуждения. При включении неподвижного ДПТ на полное напряжение питания возникает большой пусковой ток, поскольку в этом случае противо-ЭДС равна нулю и ток якорной цепи ограничивается ее незначительным сопротивлением. При этом происходит интенсивный нагрев обмотки якоря и снижение напряжения в питающей сети.

При напряжении питания 220 В и мощности более 0,7 кВт используется реостатный запуск ДПТ.

Рабочие характеристики ДПТ в значительной степени определяются способом его возбуждения — электромагнитное возбуждение или возбуждение от постоянных магнитов, а также схемой включения обмотки возбуждения относительно обмотки якоря (параллельное, независимое, последовательное и смешанное возбуждение) [2].

Двигатель постоянного тока (ДПТ) с возбуждением от постоянных магнитов — двигатель постоянного тока, в котором поток возбуждения создается постоянными магнитами.

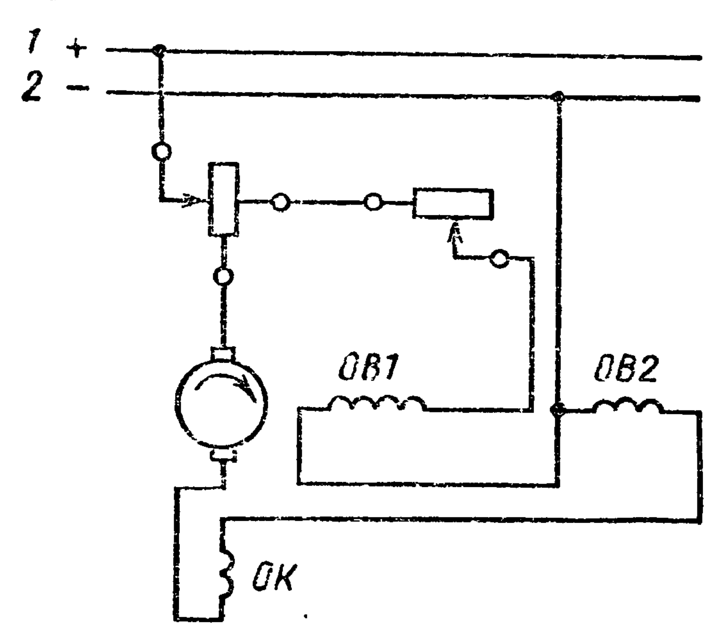


Рис. 25. Двигатель постоянного тока смешанного возбуждения

Наиболее часто постоянные магниты изготовляются из различных соединений феррита. В общем случае постоянный магнит выполнен в виде обоймы или кольца, намагниченного таким образом, что по его окружности образуются полюсы чередующейся полярности. Известны конструкции магнитов, выполненные в виде отдельных сегментов. Якорь ДПТ с возбуждением от постоянных магнитов конструктивно не отличается от якоря двигателя с электромагнитным возбуждением.

Как правило, такие двигатели используются в электрифицированных игрушках, в электробытовых приборах, в различных электроприводах автомобиля, а также в системах автоматического управления. Примерно 99 % всех двигателей постоянного тока мощностью менее 10 Вт выполняется с возбуждением от постоянных магнитов [2].

Двигатель с двойным ротором — специальное конструктивное исполнение асинхронной машины, в которой между статором и ротором расположен дополнительный, так называемый *промежуточный ротор*. Последний имеет колоколообразную форму с внешней и внутренней короткозамкнутыми обмотками. Внешняя обмотка взаимодействует со статором, внутренняя — с ротором. В данной конструкции частота вращения электромагнитного поля относительно внутреннего ротора примерно в 2 раза больше, чем в обычной асинхронной машине, благодаря чему при частоте напряжения питания 50 Гц и двухполюсной обмотке статора частота вращения внутреннего ротора составляет около 6000 об/мин. Чаще всего двигатели с двойным ротором используются как быстроходные двигатели для привода механизмов в деревообрабатывающей промышленности.

Двигатель постоянного тока (ДПТ) смешанного возбуждения — двигатель с двумя обмотками возбуждения, одна из которых соединена последовательно с обмоткой якоря (рис. 25).

Механическая характеристика ДПТ смешанного возбуждения занимает промежуточное положение между механическими характеристиками двигателей параллельного и последовательного возбуждения. При преобладающем действии последовательной или параллельной обмотки возбуждения снижение частоты вращения двигателя под действием нагрузки становится соответственно больше, чем двигателя параллельного возбуждения, и меньше, чем двигателя последовательного возбуждения. В отличие от последнего ДПТ смешанного возбуждения может устойчиво работать и в режиме холостого хода. Его пусковой момент существенно выше, чем двигателя параллельного возбуждения. Специальная механическая характеристика ДПТ получается при встречном включении обмоток возбуждения. Более широкие возможности в получении различного

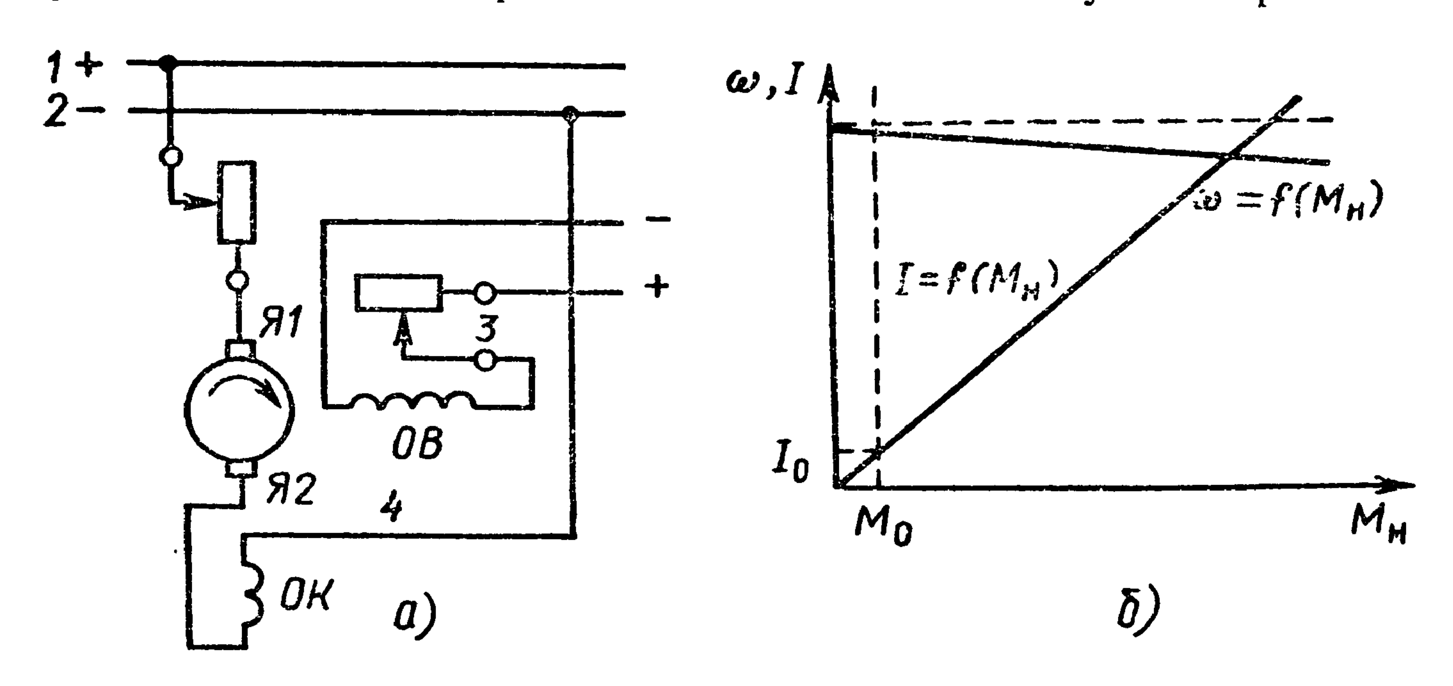


Рис. 26. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением:
а — схема включения; *б* — механическая характеристика

типа механических характеристик позволяют при использовании ДПТ смешанного возбуждения наилучшим образом согласовать электродвигательное устройство с рабочим механизмом, например в электроприводах прессов, прокатных станов и т. п. [2].

Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением — двигатель с электромагнитным возбуждением, обмотка возбуждения которого питается от постоянного источника электрического тока (рис. 26). Применяемые ДПТ имеют линейную механическую характеристику, а ток обмотки якоря — линейную зависимость от момента нагрузки (рис. 26, *б*). Снижение частоты вращения с увеличением нагрузки незначительно, т. е. ДПТ независимого возбуждения имеет жесткую механическую характеристику. Он отличается также большим диапазоном регулирования частоты вращения, которая изменяется путем изменения как напряжения питания, так и тока возбуждения. Плавное регулирование частоты вращения ДПТ независимого возбуждения осуществляется в схеме Леонардо [2].

Двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением — двигатель, обмотка возбуждения которого подключена параллельно обмотке якоря (рис. 27, *а*).

Ток, потребляемый ДПТ параллельного возбуждения, определяется суммой токов обмоток якоря и возбуждения: $I_п = I_Я + I_{ОВ}$. В связи с тем что ток якоря линейно зависит от значения нагрузки, нагрузочная характеристика $I = f(M_н)$ также имеет линейный ха-

рактер (рис. 27, *б*). Отличие тока потребления ДПТ от нуля при отсутствии нагрузки обусловлено током возбуждения. Механическая характеристика (рис. 27, *в*) аналогична механической характеристике двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. При неизменных напряжении питания и токе возбуждения изменение частоты вращения ДПТ, обусловленное изменением нагрузки от нуля до номинального значения, не превышает 10 % (рис. 27, *в*), т. е. двигатель обладает жесткой механической характеристикой. Как пра-

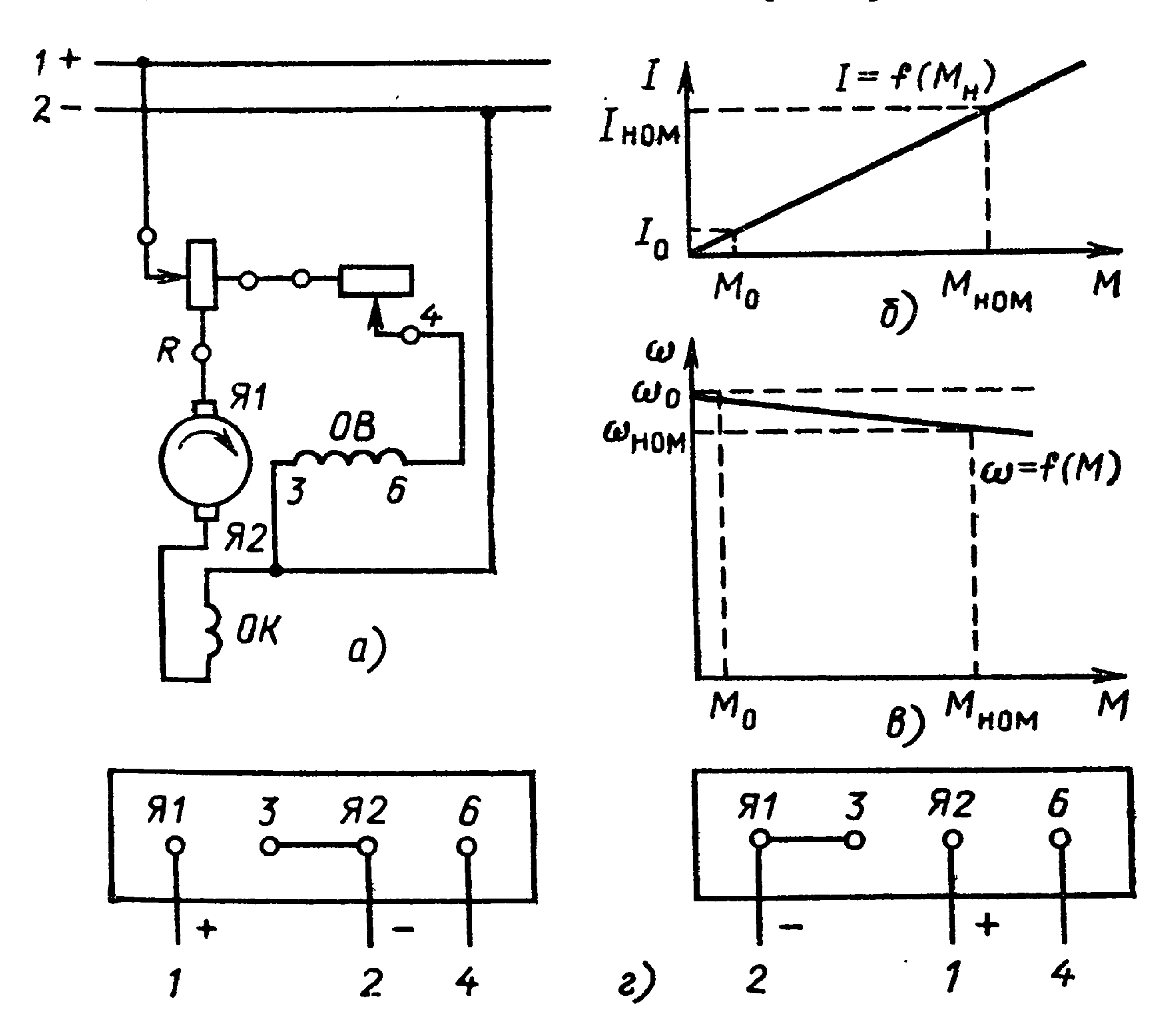


Рис. 27. Двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением:

а — схема включения; *б* — нагрузочная характеристика; *в* — механическая характеристика; *г* — подключение выводов для правого (вверху) и левого направлений вращения

вило, ДПТ используются в электроприводах металлорежущих станков. Для изменения направления вращения ДПТ необходимо изменить полярность напряжения на обмотке якоря (рис. 27, *в*) [2].

Двигатель с полым ротором — конструктивная разновидность исполнительного двигателя постоянного тока с внутренней системой возбуждения, относительно которой вращается обмотка якоря, выполненная в виде полого цилиндра (рис. 28). Двигатель с полым ротором удовлетворяет практически всем требованиям, предъявляемым к исполнительным двигателям, и выполняется на мощность от 100 МВт до 750 Вт [3].

Двигатель постоянного тока (ДПТ) с последовательным возбуждением — двигатель постоянного тока, в котором обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря (рис. 29, *а*).

В ДПТ с последовательным возбуждением ток возбуждения равен току якоря. Поэтому с ростом момента сопротивления возра-

стает как ток якоря, так и ток возбуждения. Благодаря этому ДПТ с последовательным возбуждением в отличие от ДПТ с параллельным возбуждением обладает большей перегрузочной способностью, т. е. обеспечивает то же значение вращающего момента на валу при

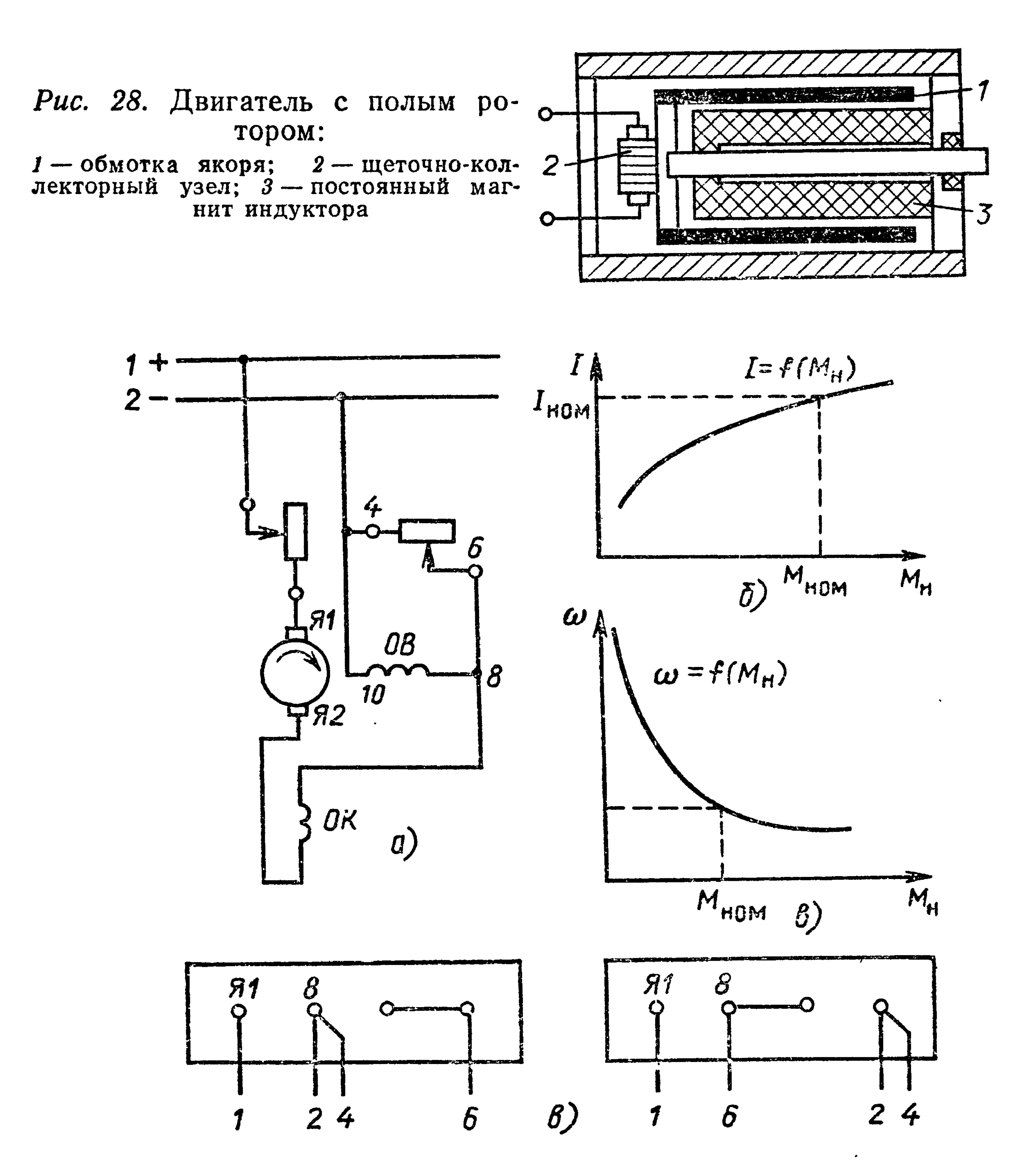


Рис. 28. Двигатель с полым ротором:

1 — обмотка якоря; *2* — щеточно-коллекторный узел; *3* — постоянный магнит индуктора

Рис. 29. Двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением:

а — схема включения; *б* — регулировочная характеристика

меньшем значении тока потребления. Номинальная частота вращения двигателя определяется количеством витков обмотки возбуждения и нагрузкой, с увеличением которой частота вращения двигателя снижается (рис. 29, *в*). При внезапном сбросе нагрузки происходит резкое увеличение частоты вращения, т. е. двигатель идет

вразнос. По этой причине механическая связь вала двигателя с валом производственного механизма должна осуществляться только посредством жестких передаточных устройств. Обычно ДПТ с последовательным возбуждением используются для приводов конвейеров, грузоподъемных кранов и в качестве тяговых двигателей. Изменение направления вращения может быть получено переключением выводов в клеммной коробке (рис. 29, *г*) [2].

Двигатель с экранированными полюсами — однофазный асинхронный двигатель с сосредоточенными короткозамкнутыми обмотками, охватывающими части явновыраженных полюсов, в котором результирующее магнитное поле образуется из магнитных полей основной и короткозамкнутой обмоток и имеет эллиптическую форму. Следует отметить, что такой двигатель прост в изготовлении и эксплуатации, надежен, но имеет очень низкий КПД (15—20 %).

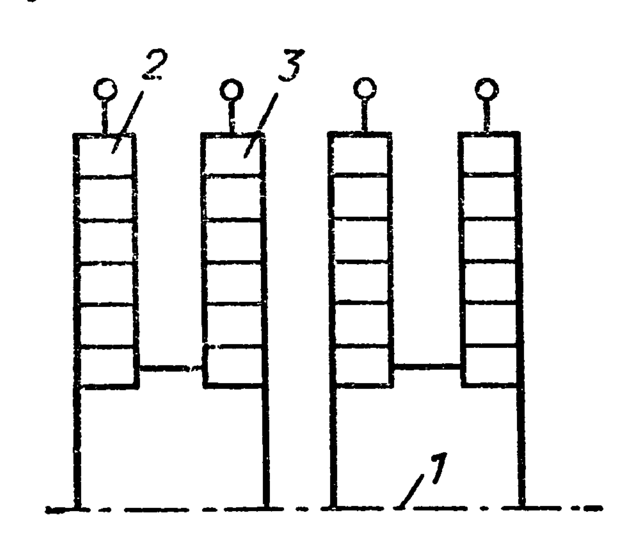


Рис. 30. Двухдисковая секционная катушка:

1 — ось катушки; *2, 3* — первый и последний витки катушки

Мощность его, как правило, не превышает 100 Вт. Он находит применение в электробытовых приборах и звуковоспроизводящей аппаратуре [3].

Двойной колодочный тормоз (колодочный тормоз).

Двустороннее охлаждение — один из способов охлаждения вращающихся электрических машин, в котором охлаждающая среда подается внутрь корпуса машины с двух противоположных сторон, а выбрасывается наружу в средней части корпуса, или наоборот.

Двухдисковая секционная катушка — катушка трансформатора, состоящая из секций, соединенных последовательно-встречно и образующих две дисковые катушки (рис. 30), каждая из которых выполнена в виде плоской спирали из одного или нескольких параллельных проводов.

Двухобмоточный трансформатор — трансформатор с первичной и вторичной обмотками, причем гальваническая связь между обмотками отсутствует, вследствие чего в отличие от автотрансформатора отдаваемая в нагрузку мощность передается из питающей сети посредством электромагнитного поля. Поэтому сталь магнитной системы и обмотки трансформатора должны быть рассчитаны на полную, т. е. номинальную, мощность.

Двухпоплавковое реле (защита трансформатора).

Двухслойная обмотка — обмотка статора или ротора электрической вращающейся машины, в каждом пазу которых расположено по две катушечные группы.

Укладываемые в паз машины катушки располагаются своими сторонами друг над другом, причем стороны катушки располагаются одна — в нижнем слое, а другая — в верхнем слое другого паза

и имеют противоположное направление (рис. 31). При этом разница в пространственном расположении нижней и верхней сторон катушек обмоток относительно рабочего воздушного зазора частично компенсируется соответствующей формовкой лобовых частей обмотки. При использовании провода большого сечения применяются секции специального профиля. В двухслойной обмотке используется прием укорочения шага с целью улучшения формы напряжения в генераторах переменного тока.

Двухстержневая магнитная система (магнитная система трансформатора).

Двухфазная обмотка (обмотка переменного тока).

Двухфазный трансформатор напряжения — трансформатор напряжения, у которого выводы первичной обмотки подключены к со-

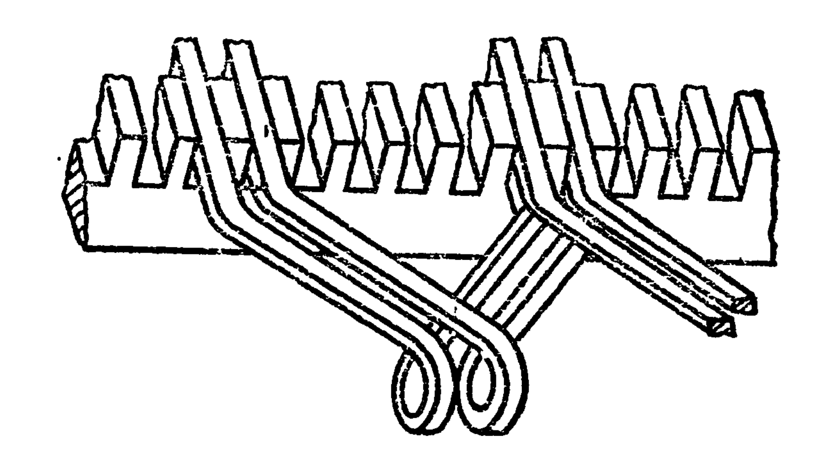


Рис. 31. Двухслойная обмотка

ответствующим фазным проводам питающей сети (рис. 32) [5].

Двуххордовые щетки (репульсионный двигатель).

Действующее значение — среднеквадратичное значение изменяющейся во времени величины, например переменного тока, действие которого при протекании его через некоторое сопротивление идентично действию постоянного тока определенного значения.

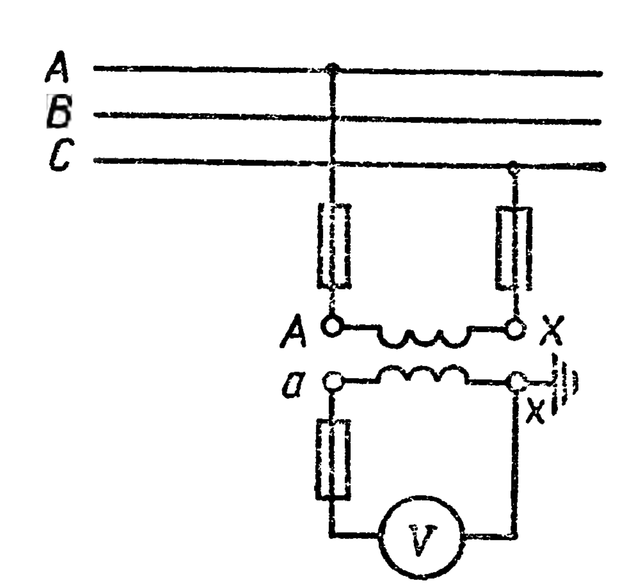


Рис. 32. Двухфазный трансформатор напряжения

При синусоидальном изменении физической величины действующее значение в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитудного значения. Действующее значение синусоидального напряжения составляет 0,707 амплитудного значения. На практике большинство электроизмерительных приборов измеряют действующее значение тока и напряжения цепи переменного тока. Установленная мощность электрических

машин и аппаратов, указанная в их паспортных данных, в основном относится к действующему значению параметра [1].

Делитель напряжения (последовательное соединение участков электрической цепи).

Делитель тока (параллельное соединение участков электрической цепи).

Джоуль (Дж) — единица измерения электрической работы, т. е. работа, которую совершает постоянная сила, равная 1 Н, на пути в 1 м, пройденном телом под действием этой силы по направлению, совпадающему с направлением силы:

$$1\ Дж = 1\ Н \cdot 1\ м = 1\ Вт \cdot с.$$

Единица названа в честь английского физика Джеймса Джоуля (1818—1889) [7].

Диаграмма переключения — последовательность включения или отключения нескольких электрических цепей, реализуемая с помощью какого-либо коммутационного аппарата.

Обычно диаграмма используется для описания алгоритма переключения контактов пакетных выключателей и программных переключателей. Так, например, с помощью диаграммы переключения может быть указана последовательность включения и отключения отдельных двигателей многодвигательного электропривода, включения электрических нагревателей и вентиляторов в системе кондиционирования, электрических светильников в различных помещениях и т. д.

Диамагнитный материал (магнитная проницаемость).

Диаметрально расположенные щетки (репульсионный двигатель).

Динамическая характеристика отражает реакцию любого звена системы автоматического регулирования на скачкообразное изменение входного сигнала и раскрывает зависимость последнего от входного сигнала и времени. Динамическая характеристика может быть графически представлена в виде функции $x_{вых}=f(t)$ либо математически в виде дифференциального уравнения. Она позволяет оценить склонность данного звена к колебаниям. При подаче на вход звена синусоидального сигнала динамическая характеристика позволяет также определить фазовое рассогласование входного и выходного сигналов.

Динамические свойства (динамическая характеристика).

Динамический момент — момент, определяющий ускорение электродвигателя и равный разности между вращающим моментом и моментом сопротивления на валу. В приводах он определяет интенсивность разгона и торможения двигателя, а также характеризует нестационарный режим работы двигателя, в результате которого электропривод переходит в новое стационарное состояние, соответствующее новым значениям момента нагрузки и частоты вращения ротора. Как правило, динамический момент появляется не только при разгоне двигателя, но и при любом изменении момента нагрузки или момента двигателя. При увеличении нагрузки динамический момент имеет отрицательный знак и оказывает тормозящее действие на ротор электрической машины.

Динамоэлектрический принцип (самовозбуждение).

Дисбаланс ротора — неравномерное распределение массы ротора относительно оси вращения.

В электрических машинах различают статический и динамиче-

ский дисбалансы ротора. Если при статическом дисбалансе имеется всего одна точка, в которой имеет место смещение центра тяжести относительно оси вращения, то при динамическом дисбалансе существуют две такие точки, смещенные относительно друг друга в аксиальном направлении.

Дисковая катушечная обмотка — обмотка трансформатора, собранная из отдельно намотанных катушек, выполненных в виде плоских спиралей из одного или нескольких параллельных проводов (рис. 33).

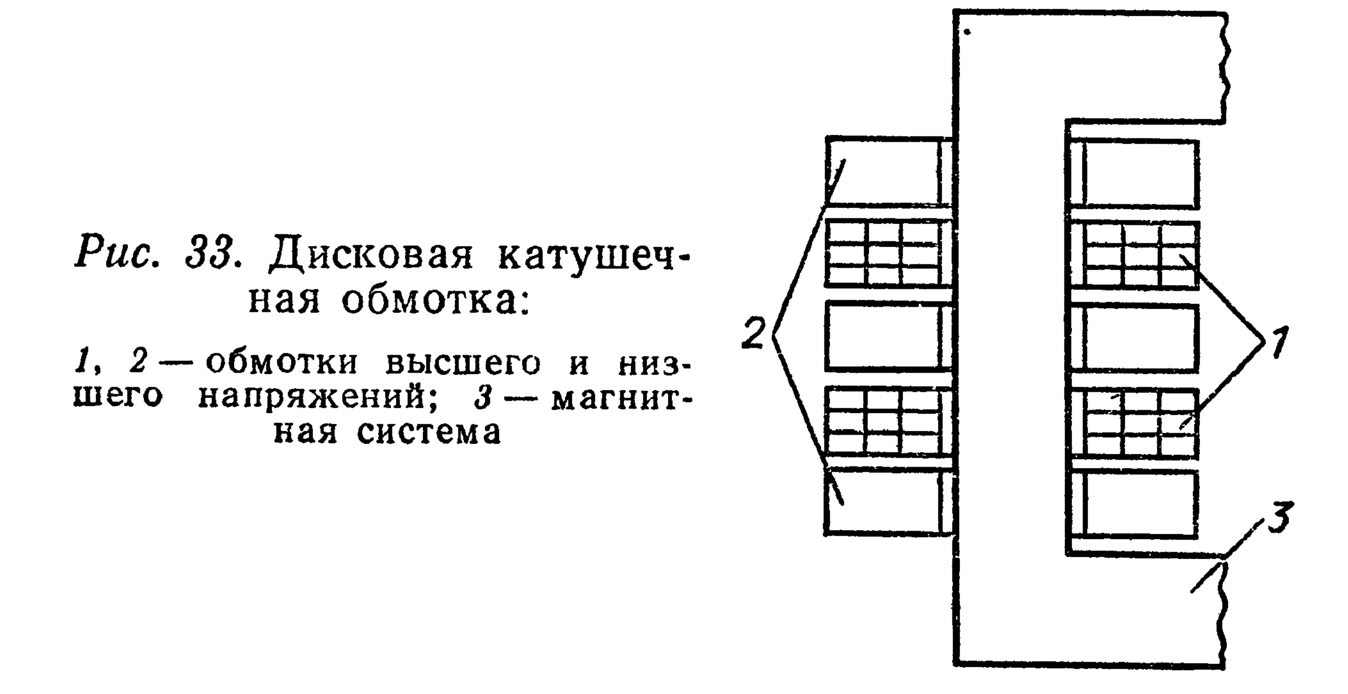


Рис. 33. Дисковая катушечная обмотка:

1, 2 — обмотки высшего и низшего напряжений; *3* — магнитная система

Обычно дисковые обмотки используются при изготовлении обмоток трансформаторов, причем обмотка высшего напряжения расположена под обмоткой низшего напряжения. Между обмотками размещена прокладка из электроизоляционного материала. Преимущество дисковых обмоток перед цилиндрическими обмотками заключается в снижении потоков рассеяния. В трансформаторах высокого напряжения они оказываются неэкономичными из-за повышенного расхода межслойной изоляции.

Дисковая катушка — катушка обмотки трансформатора, намотанная из одного или нескольких проводов, уложенных друг за другом в радиальном направлении (рис. 34).

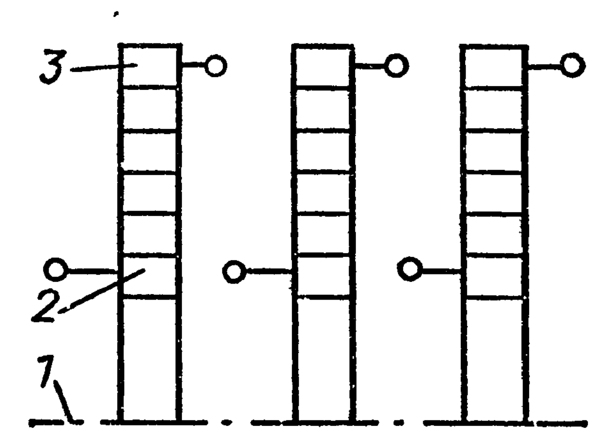


Рис. 34. Дисковая катушка:

1 — ось катушки; *2, 3* — первый и последний витки

Дисковая машина (ДМ) — электрическая вращающаяся машина, у которой ротор выполнен в виде диска с обмоткой или без обмотки.

В основном ДМ используются в качестве исполнительных двигателей постоянного тока в системах автоматики. Якорь ДМ состоит из двух тонких медных колец, разделенных промежутком из элект-

роизоляционного материала. Каждое кольцо выполняет роль проводника, по поверхности которого скользит токосъемная щетка (рис. 35). Обычно ДМ выполняются мощностью до 10 Вт и в отдельных случаях — до 5 кВт [10].

Дисковая последовательная обмотка — двойная дисковая обмотка трансформатора, начало одной катушки которой соединено с концом другой катушки. Обычно такие обмотки различаются пространственным расположением катушек и направлением их намотки. На рис. 36, *а* катушки расположены параллельно и вывод последней секции одной катушки соединен с выводом первой секции другой катушки. На рис. 36, *б* при аналогичном подключении выводов катушек одна из них имеет радиальную, а вторая — аксиальную намотку. Катушки на рис. 36, *в* отличаются направлением намотки, вследствие чего связь между ними осуществляется на уровне внешних секций.

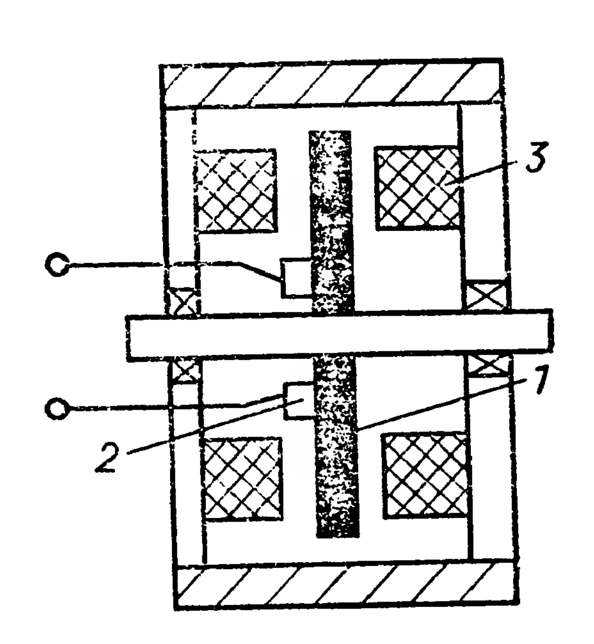


Рис. 35. Дисковая машина:

1 — обмотка якоря; *2* — щеточный узел; *3* — магнитная система

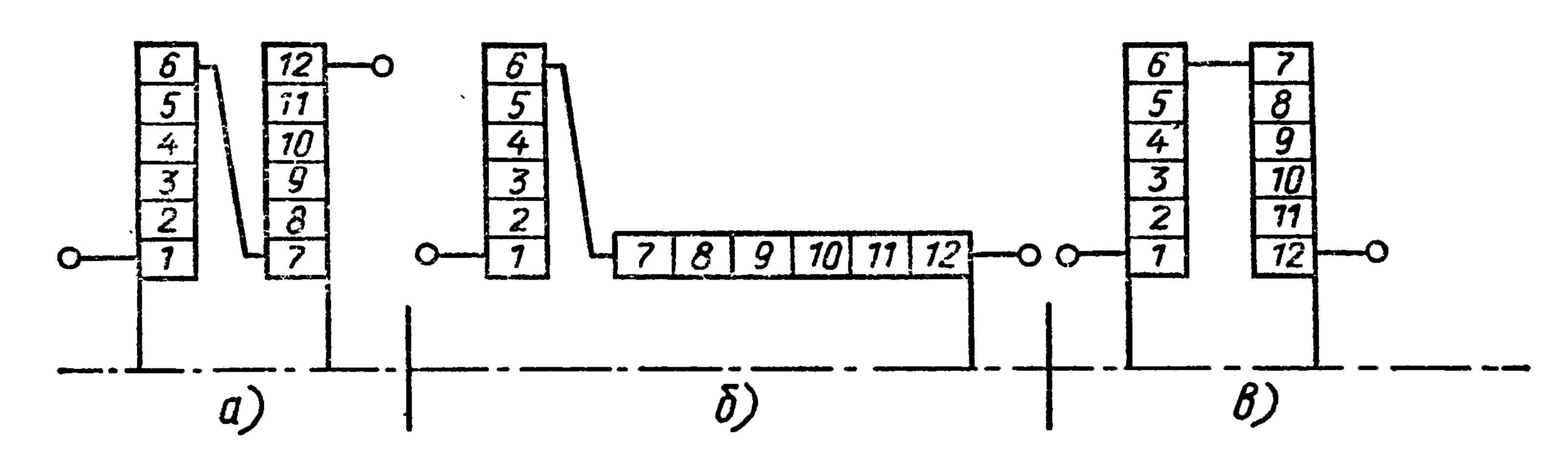


Рис. 36. Дисковая последовательная обмотка:

а, б, в — способы соединения катушек обмотки

Дисковый тормоз — механическая часть тормозного устройства электропривода, состоящая из двух дисков, один из которых имеет возможность перемещаться в аксиальном направлении, а другой вращается на валу электропривода. При механическом контакте указанных дисков возникает тормозной момент, обусловленный трением их поверхностей друг о друга. Для повышения быстродействия и тормозного момента аксиальный ход невращающегося диска должен быть сведен к минимуму, а прижимное усилие должно быть достаточно большим.

Дискретная схема — схема управления, в которой входные и выходные сигналы формируются с помощью логических 0 и 1.

Дискретные схемы бывают контактные и бесконтактные. К первым относятся различные устройства с электромеханическими реле, контакторами, пускателями и т. п. Контакты коммутационных аппаратов могут принимать всего два состояния — замкнуто (1) и разомкнуто (0), причем этим состояниям соответствует наличие или отсутствие тока в обмотках указанных аппаратов. Бесконтактные схемы реализуются на полупроводниковых приборах, например транзисторах, работающих в ключевом режиме.

Дискретное управление — способ обработки информации в системе автоматического управления, основанный на использовании дискретных сигналов, принимающих значения логических 0 и 1.

Дискретное управление часто называют цифровым, поскольку с помощью логических сигналов 0 и 1 вся информация преобразуется в комбинацию цифр, представленных в двоичном коде. В счетно-решающем блоке с указанными цифрами производятся необходимые преобразования с целью формирования управляющего воздействия. Дискретное управление может быть реализовано на базе контактных и бесконтактных элементов и позволяет получить более высокую точность регулирования по сравнению с аналоговым управлением.

Дистанционный привод — пневматическое и электромеханическое устройство, осуществляющее отключение или включение электрических аппаратов с удаленного от них пульта управления.

Основным преимуществом дистанционного привода является возможность централизованного управления различными устройствами и механизмами, рассредоточенными на значительной площади. При таком управлении значительное внимание уделяется цепям контроля и сигнализации, с помощью которых определяется состояние каждого устройства, механизма и аппарата. Указанные цепи, кроме того, позволяют оценить возможность исполнения конкретным устройством той или иной команды. Наиболее часто используется алгоритм управления, основанный на фиксации двух состояний: включено — выключено. Дистанционное управление может быть реализовано при помощи проводной или беспроводной линии связи. В первом случае для уплотнения передаваемой информации довольно часто используется принцип частотного разделения сигналов. При реализации беспроводной линии связи на пульте управления установлен передатчик, а на каждом механизме, управляемом дистанционно, — приемник сигнала управления.

Дифференциальная защита — защита трансформатора от витковых, межслойных и фазных коротких замыканий обмоток (защита трансформатора).

Принцип действия дифференциальной защиты основан на пофазном сравнении токов первичной и вторичной обмоток трансформатора с помощью дифференциального реле.

Для согласования токов используется измерительный преобразователь. Если пренебречь током намагничивания, то в нормальном режиме работы трансформатора ток первичной обмотки равен приведенному току вторичной обмотки и реле не срабатывает. При возникновении короткого замыкания баланс токов нарушается, что приводит к срабатыванию реле и отключению трансформатора с помощью силового выключателя.

Для компенсации фазового сдвига между токами, зависящего

от схемы соединения обмоток трансформатора, используется дополнительный преобразователь. Защита срабатывает также при пробое на корпус и при возникновении коротких замыканий в цепи измерительных преобразователей.

Дифференцирующее звено — один из основных элементов системы автоматического регулирования. Выходной сигнал звена пропорционален скорости изменения входного сигнала. При подаче на вход звена импульсного сигнала на его выходе появляется узкий сигнал большой амплитуды, длительность которого примерно соответствует длительности переднего фронта входного импульсного сигнала. По истечении указанного времени амплитуда выходного сигнала звена становится равной нулю. В указанных системах помимо дифференцирующего используются также интегрирующее звено, пропорциональное звено и в общем случае — передаточное звено (рис. 37).

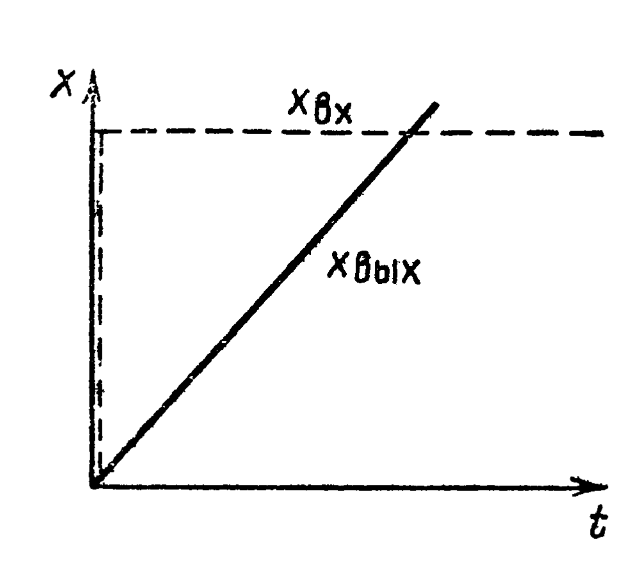


Рис. 37. Дифференцирующее звено:

$x_{вх}$, $x_{вых}$ — входной и выходной сигналы

Рис. 38. Диэлектрическая поляризация:

1 — молекулы диэлектрика

Диэлектрик (изолятор).

Диэлектрическая поляризация — упорядоченное изменение расположения связанных зарядов в диэлектрике, вызванное электрическим полем (электрическое поле).

Молекулы диэлектрика после поляризации приобретают характер диполя (рис. 38). Если электрическое поле периодически меняет свой знак, например переменное электрическое поле, то поляризация молекул происходит в соответствии с изменением поля. В результате периодической поляризации происходит нагрев диэлектрика, что может привести к его перегреву.

Диэлектрическая проницаемость показывает, во сколько раз сила взаимодействия электрических зарядов в данной среде меньше, чем в вакууме.

Условное обозначение — ε:

$$\varepsilon = D/E,$$

где D — электрическое смещение; E — напряженность электрического поля; ε — относительная диэлектрическая проницаемость:

$$\varepsilon_A = \varepsilon_0 \varepsilon.$$

Значение ε показывает, во сколько раз диэлектрическая поляризация диэлектрика больше, чем вакуума.

Ниже приведены значения ε для некоторых электроизоляционных материалов [7]:

Изолятор	Относительная диэлектрическая проницаемость
Вакуум	1
Воздух	≈1
Бумага	1,8—2,6
Трансформаторное масло	2,2—2,5
Картон	4 8
Фарфор	4,5—6
Резина	5—10

Диэлектрическая проницаемость характеризует способность диэлектриков ослаблять силовое взаимодействие электрических зарядов в электрическом поле. Указанное взаимодействие в вакууме выражается через электрическую постоянную $\varepsilon_0=8{,}86\cdot10^{-12}$ Ф/м.

Абсолютная диэлектрическая проницаемость определяется как произведение ε на электрическую постоянную ε_0.

Дополнительная обмотка автотрансформатора — часть обмотки автотрансформатора, принадлежащая только вторичной обмотке.

В электрических схемах дополнительная обмотка включена последовательно с основной обмоткой, к которой прикладывается питающее напряжение, и определяет коэффициент трансформации автотрансформатора, т. е. количество ее витков соответствует разности между высшим и низшим напряжением. Сечение провода дополнительной обмотки выбирается с учетом тока в обмотке высшего напряжения.

Дребезг контактов — явление многократного соприкосновения рабочих поверхностей контактов, возникающее при их замыкании в результате упругого удара контактов друг о друга.

Вероятность появления дребезга особенно велика при высокой относительной скорости контактов во время их замыкания. Интервал времени между моментом первого соприкосновения контактов и моментом прекращения дребезга соответствует времени дребезга контактов. Указанное явление приводит к интенсивному обгоранию контактов и является причиной появления электромагнитных помех.

Дроссель электрической печи (трансформатор электрической печи).

Дугогасительная камера — конструктивный элемент выключателей нагрузки и силовых выключателей, в котором производится гашение электрической дуги.

Корпус камеры выключателей низкого напряжения выполнен из керамики, а в старых моделях выключателей — из асбеста. В выключателях высокого напряжения корпус камеры изготовляется из синтетического электроизоляционного материала с высокой термической устойчивостью. Конструктивные особенности дугогасительной камеры зависят от коммутируемого тока и от условий эксплуатации выключателя [5].

Дугогасительная камера с деионной решеткой — дугогасительная камера аппарата, в котором существенным фактором при гаше-

нии дуги является разделение ее на ряд последовательно соединенных коротких дуг, горящих между металлическими пластинами, образующими решетку.

Конструктивно камера состоит из керамической решетки, стенки которой образуют соединенные последовательно камеры. Указанная решетка закреплена в керамических держателях и с одной стороны закрыта пластиной из электропроводящего материала. Размыкающиеся контакты выключателя расположены с открытых сторон камеры и при размыкании движутся от центра камеры к ее краям. Возникающая при размыкании контактов электрическая дуга дробится на несколько отдельных дуг, благодаря чему обеспечивается их гашение и восстановление электрической прочности воздушного промежутка (рис. 39).

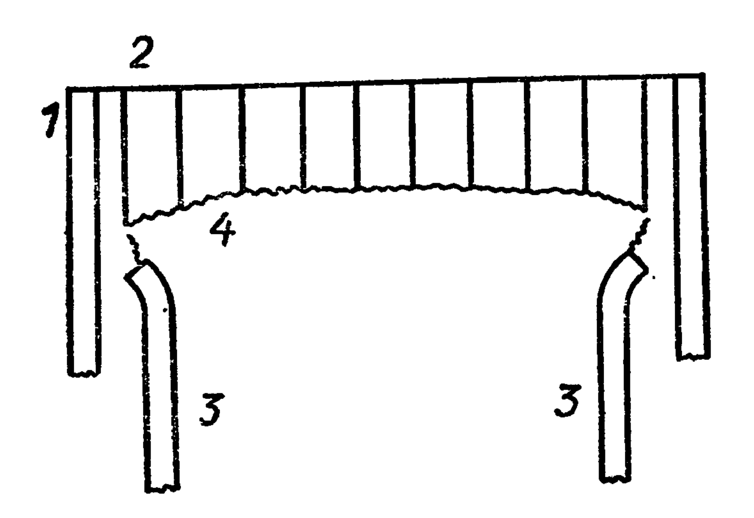


Рис. 39. Дугогасительная камера с деионной решеткой:

1 — керамический держатель; *2* — металлическая пластина; *3* — разомкнутые контакты; *4* — короткие электрические дуги

Дугогасительный конденсатор — конденсатор, предназначенный для гашения электрической дуги на контактах силового выключателя.

Обычно имеет бумажную изоляцию с масляной пропиткой и включен параллельно защищаемому контакту выключателя. Последовательно с конденсатором включен резистор, способствующий снижению тока в его цепи до значения, при котором происходит гашение дуги. При разомкнутом контакте конденсатор вместе с резистором образует электрическую цепь, обладающую высоким сопротивлением переменному току.

Дугообразование — образование в воздушном промежутке электропроводящего канала из плазмы.

При размыкании под нагрузкой контактов коммутационных аппаратов в момент отрыва их друг от друга происходит уменьшение площади контактирования, что приводит к резкому увеличению плотности тока на единицу площади контактируемых поверхностей. В результате резко увеличивается температура в точке соприкосновения контактов, следствием чего является ионизация молекул воздуха в области контактов и воздух теряет свои электроизоляционные свойства. По этой причине ток в коммутируемой цепи продолжает протекать и после полного размыкания контактов. Содержащаяся в дуге энергия преобразуется в тепловую и световую энергию и рассеивается в окружающем пространстве.

Электрическая дуга возникает также при перенапряжениях и пробое электрической изоляции, обусловленном ее старением, загрязнением, механическим повреждением и т. п. Кроме того, электрическая дуга возникает при замыкании электрических контактов при относительно низкой скорости их сближения.

Е

Емкостная нагрузка (ЕН) — составляющая полной нагрузки электрической машины переменного тока, участвующая в создании электромагнитного поля.

При ЕН ток опережает по фазе ЭДС, а угол сдвига между ними определяет соотношение активной и емкостной нагрузок; ЕН определяется электрической емкостью потребителей и эквивалентной емкостью, образованной проводами питающей сети и витками обмотки электрической машины. Указанная суммарная емкость вместе с индуктивностью обмотки образует электрический колебательный контур, возбуждение которого приводит к увеличению напряжения на зажимах электрической машины. В результате электрический генератор с ЕН имеет на зажимах напряжение, превышающее по значению напряжение ненагруженного генератора. Обычно ЕН не участвует в создании вращающего или тормозного момента, а повышает его нагрузку по току. Возникающие в обмотке дополнительные тепловые потери компенсируются за счет мощности первичного двигателя, приводящего во вращение ротор генератора.

Емкостное сопротивление — абсолютное значение реактивного сопротивления, обусловленное емкостью цепи и равное величине, обратной произведению этой емкости и угловой частоты.

Условное обозначение — x_C, единица измерения — Ом:

$$x_C = 1/\omega C,$$

где ω — частота напряжения переменного тока; C — емкость конденсатора (емкость).

Емкостное сопротивление уменьшается при увеличении частоты напряжения, т. е. при $\omega \to \infty$, $x_C \to 0$. В идеальном конденсаторе ток опережает напряжение на 90° ($\pi/2$). Емкостным сопротивлением обладают многие конструктивные элементы электрических аппаратов, а также проводные системы распределения электроэнергии [1].

Емкость относится к одному из основных параметров аккумуляторной батареи. В этом случае под емкостью понимается количество электричества, отдаваемого аккумулятором до снижения напряжения на его зажимах до минимально допустимого значения (для свинцовых аккумуляторов $U_{min} = 1{,}83$ В). Емкость пропорциональна силе тока, отдаваемого аккумулятором, и времени, в течение которого этот ток отдается в нагрузку.

В более общем случае электрическая емкость — величина, равная отношению заряда, внесенного на проводник, к потенциалу, до которого зарядился проводник под действием этого заряда. Условное обозначение — C, единица измерения — фарада (Ф):

$$C = \frac{Q}{U},$$

где Q — заряд; U — напряжение.

Емкость характеризует способность конденсатора накапливать электрический заряд. В простейшем случае конденсатор представляет собой две пластины, расположенные параллельно друг другу на некотором расстоянии. Про-

странство между пластинами заполняется диэлектриком, в качестве которого часто используется воздух. Емкость конденсатора может быть определена из выражения

$$C = \frac{\varepsilon S}{d},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость диэлектрика; S — площадь пластины; d — расстояние между пластинами.

Для получения необходимой емкости конденсатора часто используют последовательное или параллельное соединение нескольких конденсаторов. При последовательном соединении конденсаторов суммарную емкость можно определить из выражения

$$\frac{1}{C_\Sigma} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n},$$

при параллельном соединении из выражения

$$C_\Sigma = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_n.$$

Емкость трансформатора — емкость, образованная стержнем магнитной системы и обмотками трансформатора.

В двухобмоточном масляном трансформаторе эквивалентные емкости образуются (рис. 40) между стержнем и обмоткой низшего

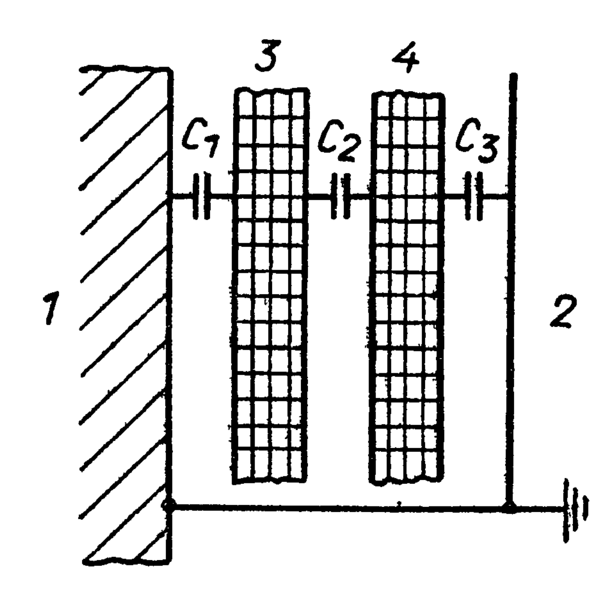


Рис. 40. Емкость трансформатора:

1 — магнитная система; *2* — бак; *3*, *4* — обмотки высшего и низшего напряжений

напряжения C_1, между обмотками C_2, между обмоткой высшего напряжения и баком C_3. При заземлении магнитной системы бака и обмотки высшего напряжения трансформатора можно измерить емкость обмотки низшего напряжения относительно земли: $C_A = C_1 + C_2$. При заземлении обмотки низшего напряжения емкость обмотки высшего напряжения относительно земли $C_B = C_2 + C_3$. Емкость между обмотками при заземлении обмотки низшего напряжения $C_C = C_1 + C_3$. При известных C_A, C_B и C_C емкости C_1—C_3 можно определить с помощью следующих выражений:

$$C_1 = \frac{C_A - C_B + C_C}{2};$$

$$C_2 = C_A - C_1; \quad C_3 = C_B - C_2.$$

Естественное гашение дуги — гашение электрической дуги, обусловленное особенностью физических процессов, протекающих в ней.

При возникновении электрической дуги между разомкнутыми контактами на шнур плазмы действует сила, появление которой обусловлено термодинамическим эффектом. Под действием указанной силы шнур плазмы выгибается вверх, что приводит к увеличению его длины и к снижению времени горения дуги (рис. 41). Указанный эффект, как правило, сопровождается электродинамическим эффектом, согласно которому шнур плазмы проявляет себя как проводник с изменяющимся током, помещенный в магнитное поле.

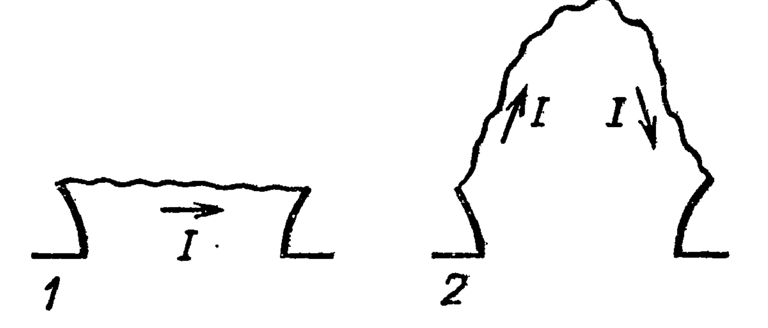


Рис. 41. Естественное гашение дуги:

1, 2 — конфигурации дуги в начале горения; *I* — ток электрической дуги по истечении времени

Естественное охлаждение — способ охлаждения электрической машины.

В трансформаторах естественное охлаждение реализуется с помощью воздуха или масла, свободно перемещающихся относительно активных частей трансформатора под действием перераспределяющихся тепловых потоков.

З

Задатчик — элемент системы автоматического регулирования, задающий значение регулируемого параметра, поддерживаемое системой регулирования.

Выходной сигнал задатчика в замкнутой системе автоматического регулирования сравнивается с действительным значением регулируемого параметра, измеренного с помощью какого-либо аналогового или дискретного датчика. При наличии рассогласования, т. е. отклонения действительного значения указанного параметра от заданного, разностный сигнал с соответствующим знаком подается на управляющий вход регулятора, устраняющего возникшее рассогласование с заданной точностью. Так, например, в автоматизированном электроприводе задается частота вращения электродвигателя, с помощью тахогенератора определяется действительное значение частоты вращения и при наличии рассогласования соответствующим образом изменяется напряжение питания, подаваемое на обмотку двигателя, что приводит к устранению рассогласования.

Задающее воздействие — один из сигналов на входе системы автоматического регулирования, определяющий значение выходного сигнала и сравниваемый с сигналами обратных связей.

В системах регулирования электрических генераторов в качестве задающего воздействия могут использоваться напряжение и частота, в электроприводах — частота вращения, момент, ток и т. п. Задающее воздействие может быть представлено не только в виде регулируемой величины, но и в виде других физических величин, формируемых соответствующим задатчиком. Так, например, при помощи тахогенератора частота вращения может быть представлена

напряжением, амплитуда которого соответствует указанному параметру; температура также может быть представлена в виде напряжения разбаланса измерительного моста, в одно из плеч которого включен терморезистор, и т. д.

Задержка включения (полное время включения).

Задержка отключения (полное время отключения).

Закон Ленца — при всяком изменении магнитного потока, сцепляющегося с каким-либо проводящим контуром, в последнем возникают силы электрического и механического характеров, стремящиеся сохранить постоянство магнитного потока.

При изменении магнитного потока, пронизывающего проводящий контур, в последнем наводится противо-ЭДС, вызывающая протекание тока в этом контуре. Этот ток направлен таким образом, что при увеличении магнитного потока создаваемый им собственный поток направлен встречно внешнему магнитному потоку, а при уменьшении внешнего магнитного потока — наоборот, т. е. в обоих случаях ток в контуре стремится поддержать значение потока неизменным.

Закон назван в честь русского академика Э. Х. Ленца (1804—1865).

Закон Ома (линейное сопротивление.)

Закон полного тока устанавливает взаимосвязь энергии электромагнитного поля и энергии токов, его вызвавших.

Для любого замкнутого контура потокосцепление определяется суммой токов, участвующих в создании электромагнитного поля, силовые линии которого пронизывают указанный контур. Для рис. 42 закон полного тока может быть записан в следующем виде:

$$F = I_2 + I_3 + I_4,$$

где F — потокосцепление; I — сила тока.

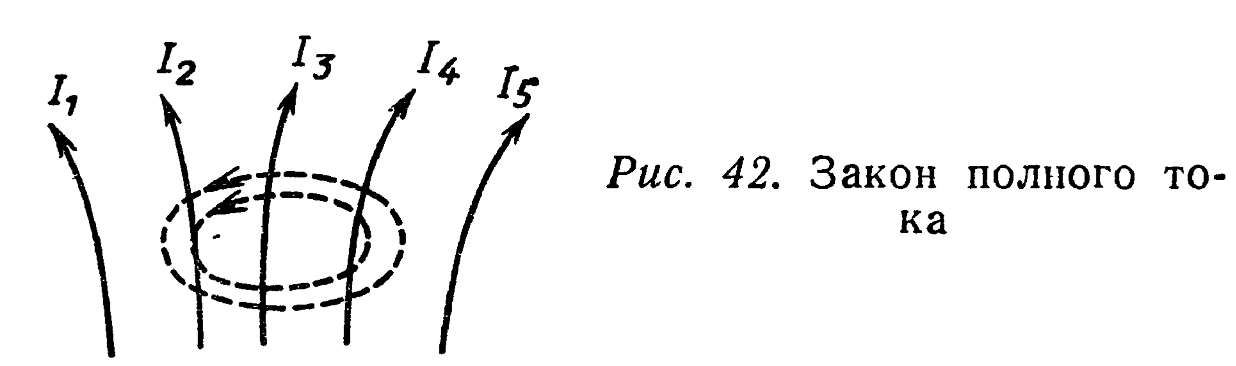


Рис. 42. Закон полного тока

Для катушки с током I и числом витков w

$$F = Iw.$$

Закон распределения токов — закон, определяющий характер распределения токов между включенными параллельно резисторами.

Согласно этому закону значения токов в резисторах обратно пропорциональны значениям их сопротивлений, т. е.

$$I_1 : I_2 = R_2 : R_1.$$

При этом через резистор с минимальным сопротивлением протекает самый большой ток.

Закон электромагнитной индукции — закон, устанавливающий взаимосвязь между энергиями электрического и магнитного полей при их взаимном преобразовании.

Согласно этому закону во всяком проводнике, помещенном в изменяющееся во времени магнитное поле, наводится ЭДС. При этом ЭДС состоит из следующих составляющих: ЭДС самоиндукции и ЭДС взаимоиндукции.

Замкнутая обмотка (волновая обмотка).

Замкнутая система вентиляции — одна из систем вентиляции вращающихся электрических машин, в которой электрическая машина и теплообменник образуют замкнутый контур с циркулирующим хладагентом.

Замкнутое управление — автоматическое управление, при котором выходной сигнал системы автоматического регулирования поступает на ее вход с целью устранения рассогласования между действительным и заданным значениями параметра регулирования.

Обычно замкнутое управление реализуется в системе, содержащей задатчик, элемент сравнения, регулятор, объект регулирования и датчик параметра регулирования, выход которого подключен к другому входу элемента сравнения. На последнем формируется разностный сигнал, подаваемый на управляющий вход регулятора. Системы с замкнутым управлением отличаются большой сложностью и для определения их характеристик и параметров используются сложные математические модели, позволяющие также определить такой важнейший показатель, как устойчивость, без которой невозможна нормальная работа системы.

В системе регулирования напряжения генератора постоянного тока при фиксированных частоте вращения и нагрузке ток возбуждения однозначно определяет значение напряжения в обмотке якоря, которое через согласующий элемент подается на второй вход элемента сравнения. На первый вход последнего подается сигнал от задатчика напряжения. При увеличении или уменьшении нагрузки происходит снижение или увеличение напряжения в обмотке якоря, в результате чего на выходе элемента сравнения происходит увеличение сигнала рассогласования отрицательного или положительного знака. По этому сигналу, поступающему на управляющий вход регулятора тока возбуждения, происходит увеличение или уменьшение тока возбуждения генератора и соответствующее изменение напряжения в обмотке якоря, в результате чего рассогласование сводится к минимуму и ток возбуждения сохраняется постоянным до следующего момента изменения нагрузки или частоты вращения генератора.

Использование замкнутого управления позволяет компенсировать возмущающее воздействие различных внешних и внутренних факторов на параметр регулирования даже при неполной информации о количестве и характере изменения указанных факторов.

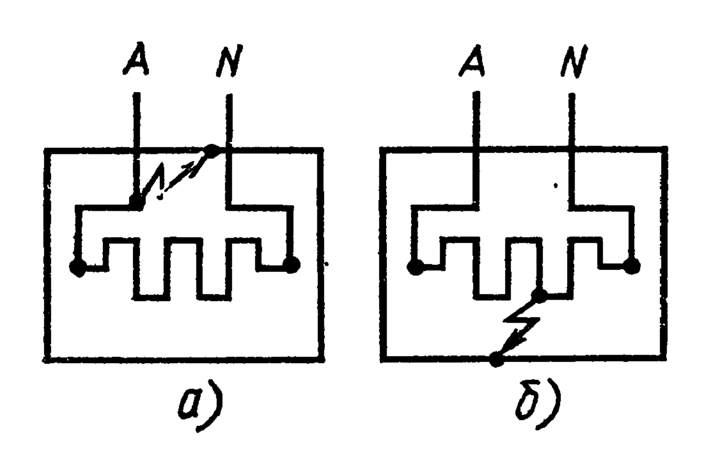
Замыкание на корпус — образование гальванической связи между токоведущими частями электротехнического устройства и его корпусом, возникшее в результате повреждения изоляции.

Различают глухое и неполное замыкания на корпус; при глухом замыкании сопротивление между корпусом и токоведущим элементом практически равно нулю; при неполном замыкании указанное сопротивление имеет некоторое значение, отличное от нуля (рис. 43). Для предотвращения последствий замыканий используются различные средства защиты, к основным из которых относятся защитное заземление и защитное отключение.

Зануление — схема включения электрооборудования, предотвра-

щающая поражение электрическим током при коротком замыкании на корпус.

Зануление производится только в электрических сетях с нулевым проводом. В сетях с изолированной нейтралью сечение заземляющих проводников выбирается в зависимости от длительно допустимой нагрузки фазных проводов. В сетях с глухо заземленной нейтралью с целью обеспечения отключения аварийного участка заземляющие проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при замыкании между фазами и заземляющими проводника-



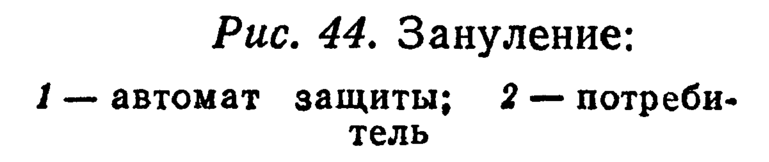


Рис. 43. Замыкание на корпус:
а — глухое; *б* — неполное

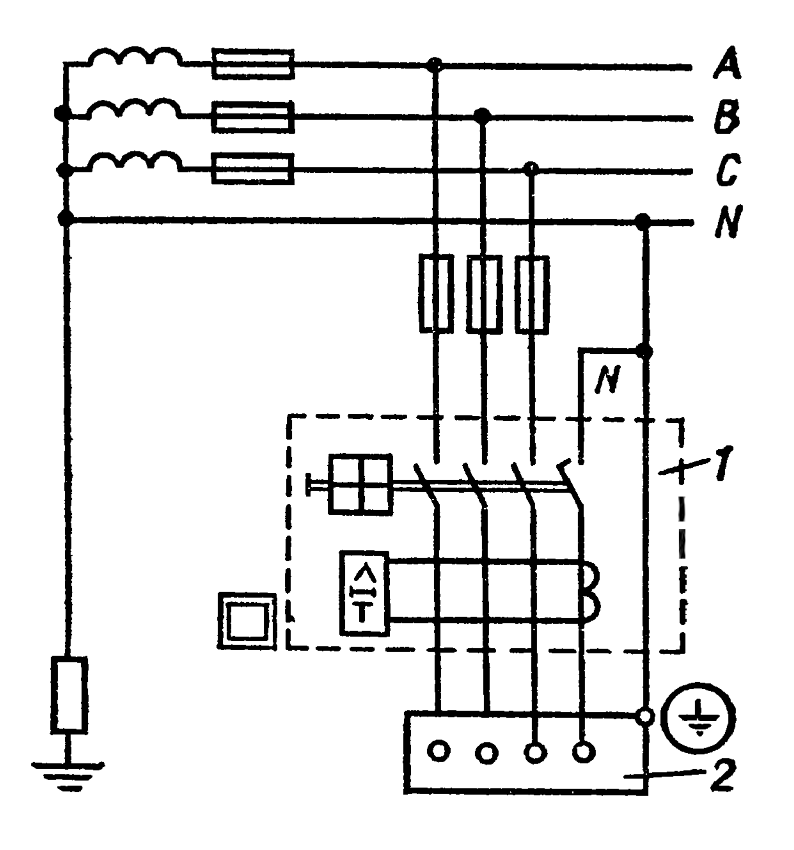


Рис. 44. Зануление:
1 — автомат защиты; *2* — потребитель

ми, в какой бы точке сети оно ни произошло, возникал ток, превышающий по меньшей мере в 3 раза номинальный ток ближайшей плавкой вставки или в 3 раза ток отключения максимального токового расцепителя соответствующего автоматического выключателя. В том случае, если указанные средства защиты не осуществляют отключение оборудования, срабатывает дифференциальная защита, фиксирующая увеличение потенциала нулевой точки (рис. 44).

Запоминающий элемент — один из основных элементов системы автоматического регулирования, обеспечивающий хранение информации в течение некоторого времени в цифровой или аналоговой форме.

Запоминающий элемент может быть реализован на базе электромеханических, полупроводниковых, магнитных и других элементов. Выбор того или иного типа элемента определяется условиями эксплуатации, скоростью записи и считывания информации, надежностью ее хранения, уровнем энергопотребления и т. д.

Защита генератора — совокупность технических средств, предназначенных для предотвращения повреждений генератора при уменьшении сопротивления изоляции обмоток и коротких замыканиях в питаемой им сети.

Нарушения нормального режима работы, обусловленные изменением сопротивления электропотребителей, фиксируются блоками защиты от перегрузки и перенапряжения. При 5 %-ной перегрузке генератора допускается его работа в течение 6—12 с, после чего срабатывает блок сигнализации перегрузки. Блок защиты от перегрузки срабатывает при 1,5-кратной перегрузке генератора, причем

время срабатывания блока, отключающего генератор от питающей сети, не должно превышать 0,3—0,45 с.

Снижение сопротивления изоляции обмоток генератора может привести к короткому замыканию внутри генератора. Контроль сопротивления изоляции производится с помощью блока дифференциальной защиты. Замыкание на корпус возникает при повреждении пазовой изоляции обмотки, вследствие чего корпус генератора оказывается под напряжением. В обоих случаях производится немедленное отключение генератора, т. е. снятие возбуждения и отсоединение вала генератора от вала первичного двигателя. При повреждении обмотки возбуждения напряжение возбуждения попадает на корпус, не вызывая при этом снижения электробезопасности и нарушения работы генератора. Только при двойном повреждении изоляции обмотки возбуждения нарушается нормальная работа генератора вследствие асимметрии магнитного потока и колебаний частоты вращения ротора.

При выходе из строя первичного двигателя привода синхронного генератора последний может работать от питающей сети в двигательном режиме, что приводит к дополнительной нагрузке питающей сети. Для устранения этого режима используется блок защиты от обратного направления мощности.

Защита от замыкания на землю — мероприятия по предотвращению последствий замыкания на землю обмотки статора турбогенератора.

Для фиксации замыкания на землю нулевая точка обмотки статора турбогенератора, соединенной по схеме звезда, подключена к земле через высокоомный резистор. При возникновении замыкания через резистор протекает некоторый незначительный ток, в результате чего срабатывает чувствительное реле защиты, отключая турбогенератор от электрической сети и снимая его возбуждение. В нормальном режиме работы ток через резистор равен нулю.

Защита от непрямого прикосновения (защитные мероприятия).

Защита от обратного тока — свойство генератора постоянного тока препятствовать изменению направления тока в обмотке якоря при сохранении направления тока в обмотке возбуждения.

Защита от обратной мощности (защита генератора).

Защита от перегрузки — защита электротехнического оборудования от превышения током нагрузки допустимого значения.

Такая защита осуществляется предохранителями, автоматами защиты, пускателями, силовыми выключателями. При этом сечение плавкой вставки или уставка расцепителей максимального тока в тепловых реле должны выбираться таким образом, чтобы при пробое на корпус или при коротком замыкании время отключения поврежденного участка электрической цепи указанными аппаратами не превышало 0,2—5 с.

Для электропотребителей большой мощности защита от перегрузки предусматривается в коммутационных аппаратах, посредством которых электропотребители подключаются к питающей сети.

Защита от перенапряжений — защита электротехнического оборудования от внутренних и внешних бросков напряжения, значительно превышающих по значению номинальное для оборудования напряжение. Данный вид защиты осуществляется с помощью специальных коммутационных аппаратов: разрядников, автоматов защиты и нелинейных элементов (варисторов).

Защита от радиопомех — совокупность технических средств,

предназначенных для локализации, уменьшения или устранения электромагнитных излучений в радиоволновом диапазоне.

Основными средствами защиты являются экранирование источника электромагнитного излучения и использование помехоподавляющих фильтров различных типов. Оба способа позволяют предотвратить распространение электромагнитного излучения, препятствующего функционированию систем связи. Помехоподавляющие фильтры содержат различные схемные комбинации конденсаторов, дросселей и резисторов и в схемном отношении характеризуются значительным многообразием.

Защита от снижения напряжения — отключение электрооборудования при снижении напряжения питания ниже минимально допустимого значения. Такая защита используется в тех случаях, когда возможно снижение напряжения питания, обусловленное повреждением изоляции или резким увеличением тока нагрузки. Последнее может иметь место при одновременном запуске нескольких двигателей. В коммутационных аппаратах снижение напряжения приводит к отпаданию якоря тягового электромагнита и отключению нагрузки.

Защита от тлеющего разряда — совокупность технических мероприятий, предназначенных для защиты изоляции обмоток электрических машин от потери электрической прочности.

Тлеющие разряды наиболее часто возникают в пазовой изоляции мощных электрических машин высокого напряжения. Различают внутренние и внешние средства защиты. Для снижения вероятности возникновения тлеющих разрядов необходимо ограничить доступ воздуха к пазовой изоляции (внутренние средства) и к секциям обмотки (внешние средства). Одним из способов данной защиты является покрытие поверхности катушки обмотки слоем полупроводникового материала, вследствие чего электрический потенциал на указанной поверхности становится равным электрическому потенциалу корпуса машины. Для предотвращения тлеющего разряда на концах гильзы изоляционного материала, расположенной в пазу, указанные концы покрываются электроизоляционным лаком.

Защита от электромагнитных помех — совокупность технических мероприятий, направленных на снижение уровня радиопомех в электроприводе.

Уровень радиопомех, создаваемых электроприводом, определяется не только типом электродвигателя, но также способом регулирования его частоты вращения и конструктивными особенностями электродвигателя. Для снижения уровня электромагнитных помех выбирается такое пространственное расположение электродвигателя, например в магнитофоне, при котором его воздействие на другие элементы электрической схемы оказывается минимальным. Вторым, не менее эффективным средством защиты является экранирование электродвигателя, для чего он помещается в специальную капсулу, например из алюминиевой фольги. Широко используются для защиты от электромагнитных помех различные помехоподавляющие электрические фильтры, состоящие из дросселей и конденсаторов, включенных в цепь питания электродвигателя. Для снижения уровня помех от соединительных проводов их длина должна быть минимально возможной.

Защита ротора от замыкания на корпус (защита генератора).

Защита статора от пробоя на корпус (защита генератора).

Защита трансформатора — совокупность устройств и приборов,

предназначенных для защиты трансформатора от внешних и внутренних возмущений.

К внешним возмущениям относятся перенапряжения в питающей сети, к внутренним — перегрев обмоток, обрыв или короткое замыкание отдельных витков катушек или всей обмотки и т. д.

Тип системы защиты трансформатора во многом определяется его мощностью. Так, например, в трансформаторах мощностью до 250 кВ·А используется только тепловая защита, тогда как в трансформаторах большей мощности используются максимальная токовая, газовая, дифференциальная и тепловая защиты. В системах тепловой защиты используются контактные термометры и вспомогательные измерительные обмотки.

Защитная изоляция (ЗИ) — изоляция с определенными диэлектрическими, механическими, термическими и химическими свойствами, обеспечивающая защиту от протекания токов короткого замыкания при повреждении рабочей изоляции.

Как правило, ЗИ используется в бытовых электроприборах, например в пылесосах, миксерах, кофемолках и т. д. В указанных приборах оболочка из ЗИ закрывает те участки и детали конструкции, которые могут оказаться под напряжением при повреждении рабочей изоляции. К последней относится изоляция обмотки, присоединительных проводов и т. п. Обычно ЗИ находит применение в лабораторном и медицинском оборудовании. С помощью слоя ЗИ доступные для прикосновения токоведущие части изолируются от недоступных прикосновению токоведущих частей конструкции.

В настоящее время ЗИ является одним из важнейших средств повышения электробезопасности, поскольку она снижает значение напряжения прикосновения. Оборудование с ЗИ не содержит дополнительных, нулевых и заземляющих проводов.

Защитное заземление (ЗЗ) предназначено для защиты людей и животных от поражения электрическим током при повреждении электрической изоляции электрооборудования, а также для защиты от пожаров, вызванных повреждением изоляции.

Обычно ЗЗ используется при отключении коммутационной аппаратуры с целью ее профилактического осмотра и ремонта и для отвода в землю токов короткого замыкания при пробое корпусной изоляции. Такое заземление используется только в электрических сетях без нулевого провода. Контур ЗЗ выполняется из шины большого сечения, соединенной с внешним контуром ЗЗ. Последний выполнен в виде трех труб, забитых в грунт и соединенных между собой посредством тех же шин. На транспортных средствах в качестве контура ЗЗ используется корпус этого средства (рис. 45). При повреждении электрической изоляции и появлении напряжения на корпусе электродвигателя срабатывает защита от тока короткого замыкания, что приводит к отключению поврежденного электродвигателя и устранению опасности поражения человека напряжением на корпусе. Работоспособность ЗЗ определяется при профилактических осмотрах оборудования.

Защитное заземление трансформатора напряжения — защитное заземление первичной обмотки трансформатора напряжения.

Гальваническое соединение вторичной обмотки трансформатора напряжения с землей позволяет предотвратить появление в ней высшего напряжения при повреждении изоляции.

Конструкция трансформатора напряжения (магнитная система, стержневая изоляция, вторичная обмотка, межобмоточная изоляция

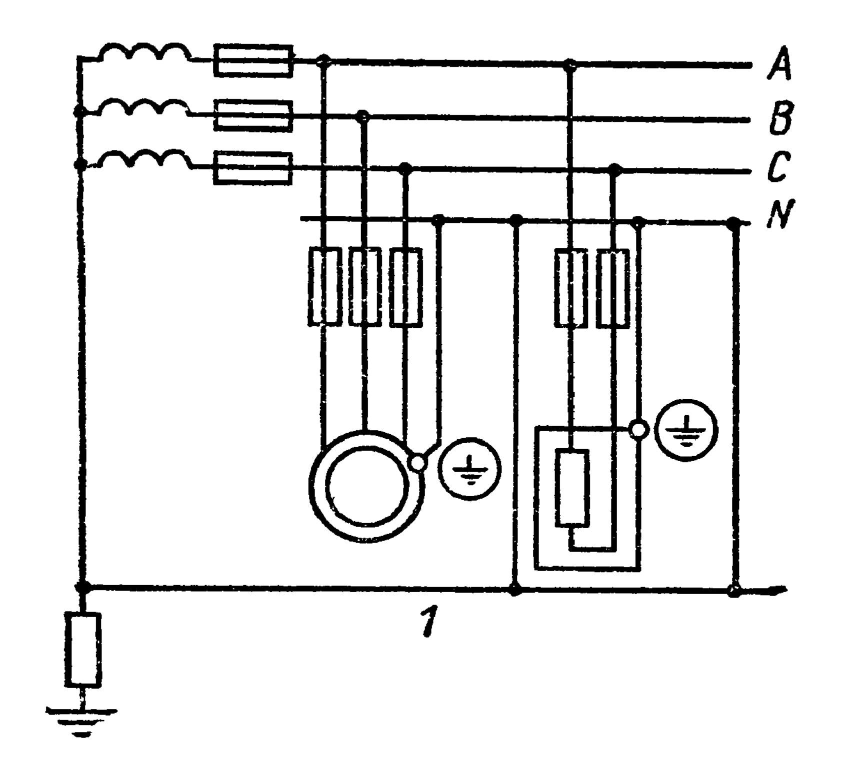


Рис. 45. Защитное заземление:

1 — контур заземления

и первичная обмотка) через посредство схемы замещения может быть представлена в виде двух включенных последовательно конденсаторов. В результате напряжение в конструкции перераспределяется таким образом, что потенциал вторичной обмотки относительно земли опасен для жизни человека.

Защитные мероприятия — совокупность технических средств, предназначенных для защиты людей и животных от поражения электрическим током.

По степени защиты различают защитные мероприятия от прямого и непрямого прикосновения к токоведущим частям. В свою очередь защита от прямого прикосновения к токоведущим частям подразделяется на временную и постоянную. При временном использовании защиты от прямого прикосновения последнее происходит обычно случайно. Поэтому для повышения электробезопасности в этом случае используются различные ограждения.

Более серьезные мероприятия используются при возможности систематического прямого прикосновения к токоведущим частям. К ним относятся: предотвращение доступа к токоведущим частям; использование пониженного напряжения; защита от непрямого прикосновения. К защитным мероприятиям от непрямого прикосновения относятся: защитная изоляция, пониженное напряжение, зануление, защитное отключение.

Защитный провод — провод, предназначенный для подключения различных элементов и частей электрооборудования с целью защиты человека и животных от поражения электрическим током.

К защитным относятся нулевой и заземляющий провода. Защитное отключение при повреждении изоляции производится различными коммутационными аппаратами, через расцепитель максимального тока которых и защитный провод протекает ток короткого замыкания. Обычно защитные провода разделяются на естественные и искусственные. К первым относятся металлические части электрооборудования, не предназначенные для пропускания электрического тока, но обладающие высокой проводимостью, например шасси автомобиля, различные трубы и тросы конструкции и т. д.

Звено временной задержки (элемент задержки).

Зона обмотки — часть окружности статора или ротора машины переменного тока, в пазах которой расположены прямые стороны катушечных групп обмоток.

Каждая фаза однослойной обмотки переменного тока занимает на окружности статора или ротора две зоны обмотки на одну пару полюсов. Для двухслойной обмотки количество зон увеличивается вдвое. При двухслойных обмотках возможны такие случаи, когда каждый слой имеет свою собственную зону, причем одна зона на-

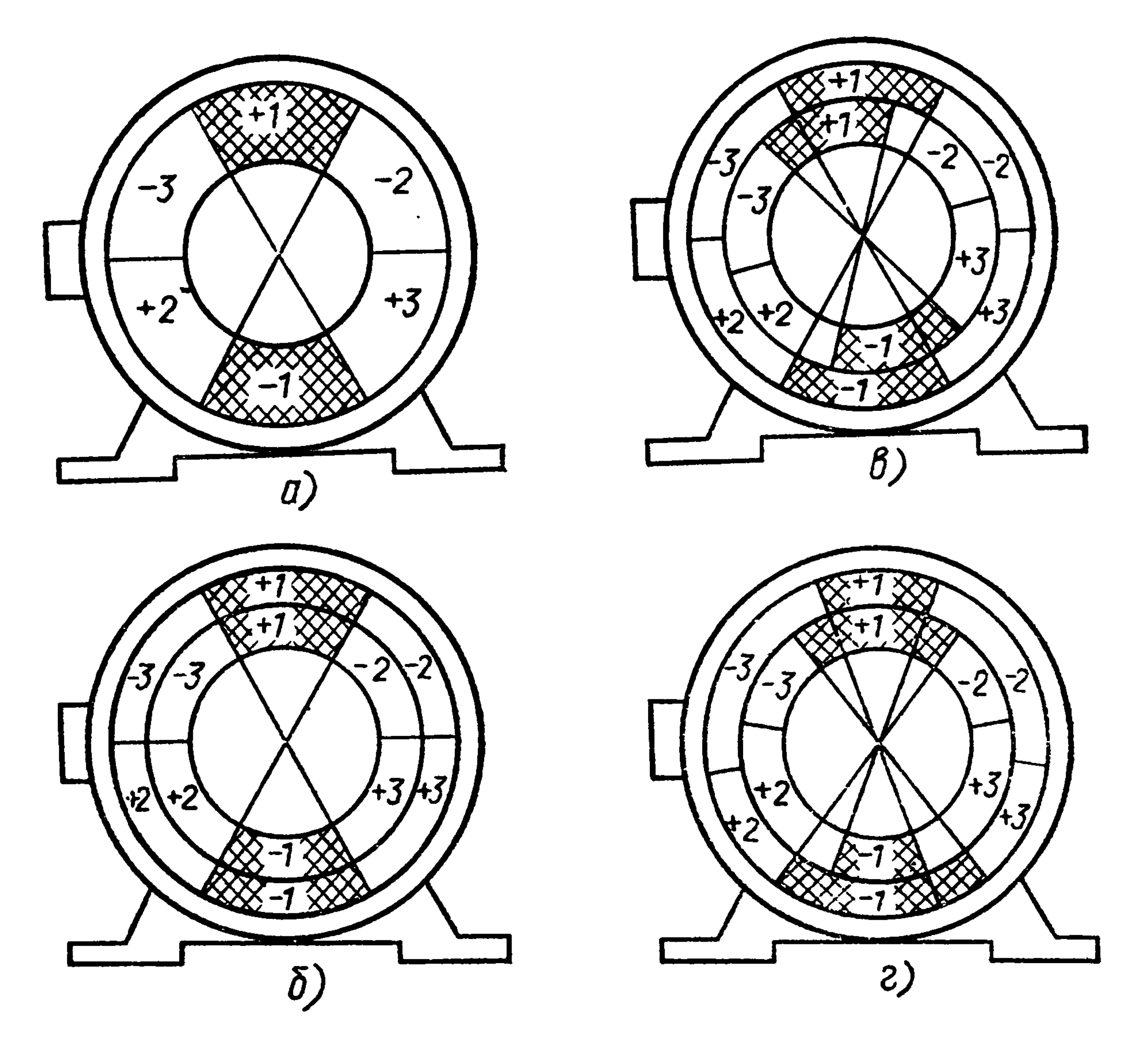


Рис. 46. Зона обмотки:

а — однослойная обмотка; *б* — двухслойная диаметральная обмотка; *в* — двухслойная обмотка со смещенными зонами; *г* — двухслойная обмотка с различной шириной зон

крывает другую. Знание зон обмоток необходимо при проверке схемы соединения обмоток. На рис. 46 приведены примеры распределения зон по окружности статора.

Зубчатое передаточное устройство — передаточное устройство электропривода, в котором вращающий момент передается посредством зубчатых колес, устройство способно передавать значительные вращающие моменты при малых габаритах и исключать проскальзывание ведущего и ведомого валов. При соответствующем конструктивном исполнении оно позволяет регулировать частоту вращения производственного механизма в обоих направлениях вращения. Одной из разновидностей зубчатых передаточных устройств является червячное передаточное устройство.

И

Изменение напряжения трансформатора — изменение напряжения на вторичной обмотке трансформатора, обусловленное изменением тока нагрузки. При изменении нагрузки напряжение на вторичной обмотке меняется вследствие изменения падения напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях обмоток.

Изменение скольжения — один из способов изменения частоты

вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором.

В двигателях с короткозамкнутым ротором изменение скольжения реализуется с помощью добавочных резисторов или понижающего трансформатора в цепи обмотки статора. В этом случае скольжение увеличивается, а частота вращения двигателя падает. Указанные средства отличаются малым диапазоном регулирования частоты вращения и сильной зависимостью последней от значения момента нагрузки. Так, например, при вентиляторном характере нагрузки увеличение скольжения не превышает 30 %.

В двигателях с фазным ротором увеличение скольжения обеспечивается путем увеличения сопротивления дополнительных резисторов в цепи обмотки ротора. Для этого способа регулирования также характерны сильная зависимость частоты вращения двигателя от момента нагрузки и ограниченный диапазон регулирования, а значительные потери в дополнительных резисторах снижают КПД привода в целом.

Измерение активного сопротивления обмоток трансформатора производится с целью определения падения напряжения и тока короткого замыкания. Для определения сопротивления используется мост постоянного тока или метод, основанный на измерении тока в обмотке при подаче на нее некоторого постоянного напряжения. В последнем случае активное сопротивление обмотки определяется как частное от деления напряжения на ток. Если ток через обмотку протекает более одной минуты, то его значение должно быть не более 20 % номинального. При обоих методах измерения необходимо учитывать реальную температуру обмотки, что позволяет определить значение ее сопротивления с поправкой на влияние температуры. Для этого может быть использована формула

$$R_t = \frac{R_0\,(235 + t_0)}{235 + t},$$

где R_0 — сопротивление обмотки при расчетном значении температуры $t_0 = 25\,°C$; t — действительное значение температуры; R_t — искомое значение сопротивления обмотки.

Измерение сопротивления изоляции маломощных трансформаторов осуществляется после подачи на первичную обмотку трансформатора напряжения постоянного тока значением 500±25 В. По истечении одной минуты измеряется сопротивление изоляции между:

токоведущими частями и нетоковедущими элементами конструкции, доступными для прикосновения обслуживающего персонала;

первичной и вторичной обмотками, причем последняя имеет гальваническую связь с магнитной системой;

токоведущими частями и нетоковедущими элементами конструкции, недоступными для прикосновения обслуживающего персонала для трансформаторов повышенной электробезопасности;

нетоковедущими элементами конструкции, доступными и недоступными для прикосновения.

Минимально допустимым значением сопротивления изоляции между первичной и вторичной обмотками является 5 МОм, между другими частями и элементами конструкции трансформатора — 2 МОм.

Измерение сопротивления нулевой последовательности проводится в силовых трансформаторах с целью определения полного сопротивления каждой фазы обмотки низшего напряжения при номинальной частоте.

Значение сопротивления нулевой последовательности определяется посредством измерения тока и напряжения (рис. 47) и вычисления по формуле

$$Z_0 = \frac{3U}{I}.$$

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь — способ контроля сопротивления изоляции обмоток мощных трансформаторов. Качество изоляции считается удовлетворительным, если при использовании мостовой схемы переменного тока высокого напряжения измеренное значение тангенса угла диэлектрических потерь составляет $\operatorname{tg}\delta = (5 \div 15) \cdot 10^{-3}$.

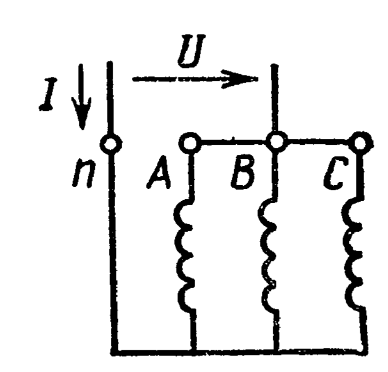


Рис. 47. Измерение сопротивления нулевой последовательности

Измерительный преобразователь — специальный маломощный трансформатор, предназначенный для преобразования контролируемого параметра мощных электрических цепей в сигнал, подаваемый на вход элементов системы автоматического регулирования или на измерительные приборы.

Такой преобразователь используется для: согласования сигналов силовых и измерительных электрических цепей; их гальванической развязки; определения токов короткого замыкания в устройствах защиты; алгебраического сложения нескольких сигналов, пропорциональных токам и напряжениям в контролируемых электрических цепях.

Изолирование (изоляция).

Изолятор — твердое, жидкое или газообразное вещество, не содержащее свободных носителей зарядов или содержащее незначительное их количество и оказывающее по этой причине большое сопротивление прохождению электрического тока. В группу изоляторов входят также диэлектрики.

Основное назначение изолятора заключается в гальванической развязке токоведущих проводов друг от друга, токоведущих частей от токоведущих и от земли. К важнейшим требованиям, предъявляемым к изоляторам, относятся высокая электрическая, механическая и термическая прочность, устойчивость к воздействию химически агрессивных сред. Наиболее распространенными изоляторами являются: керамика, картон, лак, резина, песок, масло, бензин, спирт, дистиллированная вода, вакуум и различные газовые смеси, в том числе и воздух [1].

Изоляционный материал (диэлектрик).

Изоляция — гальваническое разделение токоведущих частей между собой или (и) между нетоковедущими, конструктивными элементами электрических машин, подлежащих заземлению [1].

Изоляция лобовых частей обмотки — изоляция, покрывающая

части обмоток электрических машин, расположенные вне паза статора или ротора.

В качестве изоляции используются прессшпан, стеклоткань, синтетическая ткань, хлопок, шелк и другие электроизоляционные материалы. Электрические, механические и термические свойства изоляции должны соответствовать реальным значениям указанных параметров.

Изоляция обмотки возбуждения (ОВ). Под изоляцией обмотки возбуждения, выполненной в виде концентрической катушки, понимают изоляцию провода, межслойную изоляцию и изоляцию полюса, обеспечивающую необходимую электрическую, механическую и термическую прочность обмотки.

Тип используемой в конкретной электрической машине изоляции ОВ зависит от конструкции обмотки и значения напряжения питания. Для обмоток с большим количеством витков и малым сечением провода используется межслойная изоляция из прессшпана, остеклованной ткани или электроизоляционной бумаги. В качестве наружной изоляции ОВ используют хлопчатобумажную или остеклованную ленту (тесьму). Для обмоток с малым количеством витков и большим сечением провода к межслойной изоляции предъявляются менее жесткие требования, поскольку в этих случаях имеется возможность располагать отдельные витки на некотором расстоянии друг от друга. В этом случае стержень полюсного наконечника обматывается миканитовой лентой или на него надевается гильза из довольно жесткого электроизоляционного материала. Особое внимание уделяется изоляции ОВ, установленных на вращающихся полюсах, где первостепенное значение имеет их механическая прочность. В этих обмотках, как правило, используется жесткий медный провод круглого или прямоугольного сечения (рис. 48). Подобные обмотки

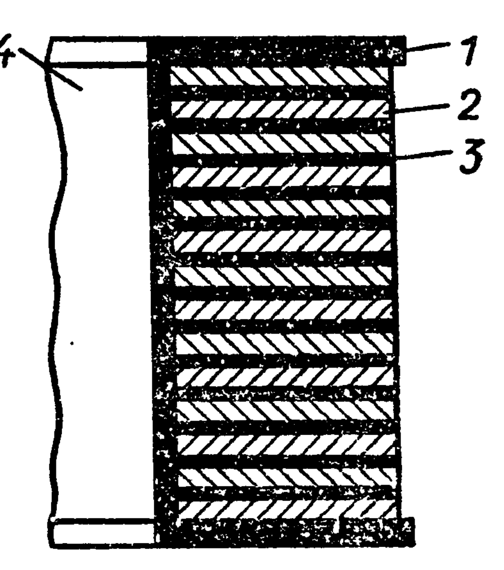


Рис. 48. Изоляция обмотки возбуждения:

1 — каркас обмотки; *2* — медный провод (лента); *3* — межвитковая изоляция; *4* — полюс индуктора машины

нередко пропитываются компаундом, который после высыхания придает обмоткам необходимую электрическую и механическую прочность. Сушка обмоток производится в специальных сушильных печах. Широко используется при изготовлении вращающихся обмоток возбуждения эпоксидная смола.

Изоляция провода — слой электроизоляционного материала, покрывающий поверхность круглых, прямоугольных и многожильных медных и алюминиевых проводов.

На практике наибольшее распространение получила лаковая и стеклолаковая изоляция. В отдельных случаях используется также изоляция из хлопчатобумажной ткани, синтетических материалов и асбеста. Выбор изоляции провода того или иного типа полностью

определяется электрической, механической и тепловой нагрузками электрической машины, что в свою очередь зависит от условий ее эксплуатации.

Изоляция сердечника (изоляция трансформатора).

Изоляция стержня обмотки — слой изоляции, покрывающий провод стержневой обмотки.

В качестве изоляции стержня используются различные электротехнические лаки, шелк, синтетические материалы, хлопок, асбест, микалента и т. д. Выбор той или иной изоляции определяется механическими, электрическими и тепловыми нагрузками электрической машины.

Изоляция трансформатора — изоляция между отдельными конструктивными элементами трансформатора с различными электрическими потенциалами.

В качестве витковой изоляции используются электротехнические лак или бумага, а в сухих трансформаторах большой мощности — резина и стеклоткань. Для витковой изоляции не предъявляются высокие требования к электрической прочности в отличие от требований относительно механической прочности. Последнее объясняется тем обстоятельством, что при формировании витка изоляция испытывает значительные механические напряжения.

В цилиндрических обмотках нижняя обмотка изолируется от стержня магнитной системы и с помощью межобмоточной изоляции — от обмотки другого напряжения. Для обеспечения отвода тепла от сердечника и обмотки в стержневой и межобмоточной изоляции предусматриваются каналы для циркуляции воздуха или масла. Толщина стержневой изоляции оказывает влияние на значение потоков рассеяния обмоток трансформатора. Корпус трансформатора изолируется от активных частей с помощью воздуха или трансформаторного масла. Выводы обмоток трансформатора с масляным охлаждением подключаются к питающей сети и к нагрузке через фарфоровые изоляторы, установленные в крышке бака трансформатора.

Класс изоляции выбирается с учетом номинальных значений напряжений на обмотках, условий эксплуатации и допустимой температуры нагрева.

Индивидуальный электропривод — электропривод, предназначенный для привода одного исполнительного органа рабочего механизма с одним или несколькими исполнительными органами. Индивидуальный привод отличается от группового электропривода, предназначенного для привода одновременно нескольких исполнительных органов одного рабочего механизма или нескольких различных рабочих механизмов. В групповом электроприводе механическая связь вала электродвигателя с несколькими исполнительными органами осуществляется с помощью различных передаточных устройств (трансмиссий, редукторов и т. п.).

Индуктивная нагрузка — составляющая полной нагрузки электрической машины переменного тока, участвующая в создании электромагнитного поля. Соотношение активной и индуктивной нагрузок электрической машины зависит от угла фазового сдвига между током и ЭДС, причем ЭДС опережает ток по фазе. Индуктивная нагрузка оказывает размагничивающее действие на основной магнитный поток электрической машины, вследствие чего напряжение на ее зажимах имеет меньшее значение, чем при работе в режиме холостого хода. При работе электрической машины в режиме генератора ин-

дуктивная нагрузка дополнительно нагружает ее по току, не вызывая при этом заметного увеличения момента на валу. Первичный двигатель, вращающий ротор генератора, помимо компенсации электрических и механических потерь в машине компенсирует тепловые потери, обусловленные протеканием реактивного тока в обмотках генератора.

Индуктивное сопротивление — реактивное сопротивление, обусловленное индуктивностью цепи и равное произведению индуктивности и угловой частоты. Условное обозначение — x_L, единица измерения — Ом:

$$x_L = \omega L,$$

где ω — частота напряжения переменного тока; L — индуктивность катушки.

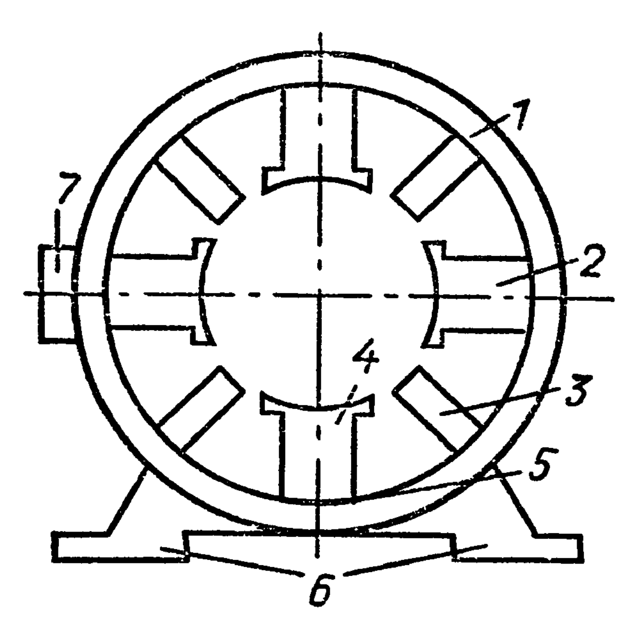


Рис. 49. Индуктор электрической машины:

1 — магнитопровод статора; 2, 3 — главный и вспомогательный полюсы; 4 — полюсный башмак; 5 — ось главных полюсов; 6 — лапы; 7 — клеммная коробка

Индуктивное сопротивление прямо пропорционально частоте напряжения питания и индуктивности катушки. При включении в цепь постоянного тока $\omega=0$, а следовательно, и $x_L=0$. Если пренебречь активным сопротивлением катушки, то в цепи переменного тока напряжение опережает ток через катушку на 90° ($\pi/2$). Практически любая катушка, включенная в цепь переменного тока, обладает индуктивным сопротивлением.

Индуктивность — физическая величина, характеризующая способность катушки с током запасать магнитную энергию. Условное обозначение — L, единица измерения — генри (Гн). Индуктивность может быть определена из выражения:

$$L = \frac{w}{R_{\text{м}}},$$

где w — количество витков обмотки; $R_{\text{м}}$ — магнитное сопротивление.

Индуктивность определяется конструктивными особенностями и размерами катушки.

Индуктор электрической машины — неподвижная часть машины постоянного тока или синхронной машины обращенного (с внешними полюсами) исполнения.

Индуктор содержит станину (рис. 49) цилиндрической формы, выполненную из стального листа или отливаемую из чугуна. В станине расположено ярмо с главными и дополнительными полюсами. На этих полюсах расположены соответственно сосредоточенные об-

мотки возбуждения и компенсационная обмотка. Полюсы индуктора выполняются массивными или шихтованными. На торце главных полюсов закрепляется полюсный башмак, профиль которого способствует улучшению формы МДС в воздушном зазоре с целью исключения из нее высших гармонических составляющих. Полюсные башмаки всегда выполняются шихтованными, поскольку они находятся в переменном магнитном поле. Остальные части магнитопровода индуктора могут быть массивными. В полюсных башмаках главных полюсов синхронной машины имеются пазы, в которых расположены стержни демпферной обмотки. В эти же пазы у машины постоянного тока укладывается компенсационная обмотка. На корпусе индуктора расположены приспособления для центровки ротора и снятия подшипников с вала, а также клеммная коробка для подключения обмоток якоря и возбуждения.

Индукционный двигатель (асинхронный двигатель).

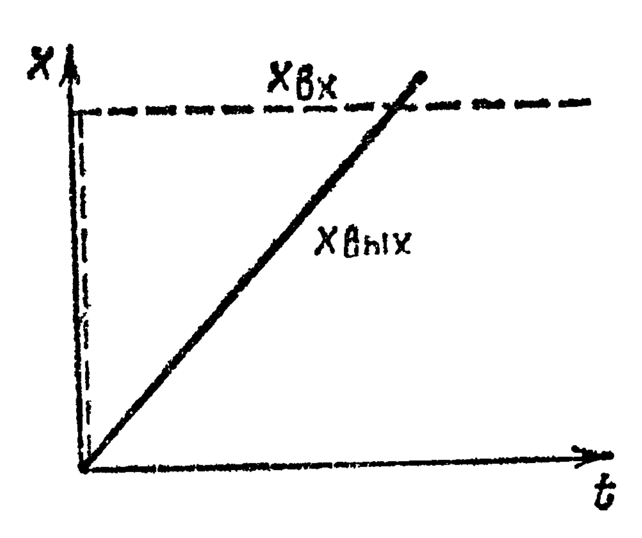


Рис. 50. Интегрирующее звено:

$x_{вх}$, $x_{вых}$ — входной и выходной сигналы

Индукционный тормоз (ИТ). В электрическом тормозе тормозной момент возникает в результате появления вихревых токов. Принцип действия ИТ идентичен принципу действия электромагнитной муфты.

Статор ИТ содержит обмотку возбуждения, а ротор для мощных ИТ выполняется в виде полого цилиндра, а для маломощных ИТ — в виде металлической шайбы. В ИТ практически отсутствуют потери на трение и обеспечиваются благоприятные условия для охлаждения активных частей. При неподвижном роторе тормозной момент ИТ равен нулю, вследствие чего ИТ не пригодны для фиксации валов производственных механизмов в неподвижном состоянии. Наиболее эффективно ИТ используются для поддержания низких частот вращения электродвигателей.

Интегрирующее звено является одним из основных элементов систем автоматического регулирования и управления. В звене скорость изменения выходного сигнала пропорциональна амплитудному значению входного сигнала. При подаче на вход звена импульсного сигнала на его выходе появляется плавно возрастающий сигнал, достигающий в течение некоторого времени конечного значения (рис. 50). В отличие от дифференцирующего интегрирующее звено повышает устойчивость системы автоматического регулирования. На базе дифференцирующего, пропорционального и интегрирующего звеньев создаются передаточные звенья любой сложности и структуры.

Интенсивность пуска — один из критериев оценки процесса пуска (пуск реостатный) электропривода. Интенсивность пуска характеризуется отношением среднего тока пуска к номинальному току двигателя, которое используется для определения количества секций пускового реостата. Коэффициенты интенсивности пуска некоторых приводов:

Тип привода	Коэффициент интенсивности пуска
Вентилятор	0,6—1,0
Электропила	0,75—1,25
Конвейер	1,25—0,75
Центрифуга	1,75—2,0

Импульсный сигнал (тестовый сигнал).

Искрение под щеткой — искрение между рабочей поверхностью щетки и поверхностью коллектора машины постоянного тока или поверхностью контактного кольца электрической машины переменного тока.

Причинами искрения являются недостаточное давление щетки на контактную поверхность, неправильное ее положение в щеткодержателе (нейтраль геометрическая), а в машинах постоянного тока — коммутация секций якорной обмотки, приводящая к появлению ЭДС самоиндукции [3].

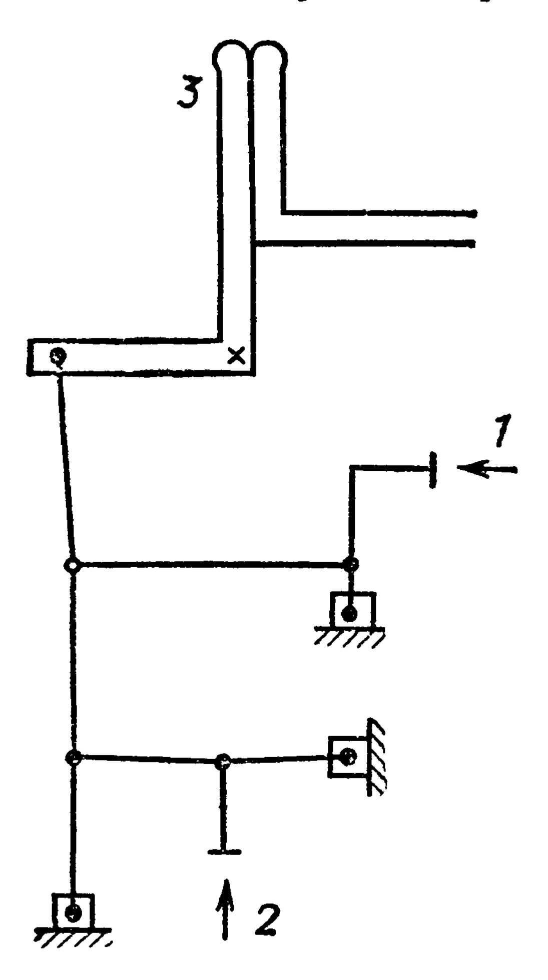


Рис. 51. Исполнительный механизм выключателя:

1, 2 — кнопки включения и отключения; *3* — контакты

Исполнительный двигатель постоянного тока (ДПТ) — двигатель постоянного тока, предназначенный для систем автоматики и преобразующий входной электрический сигнал в заданное угловое перемещение вала или в заданную зависимость изменения угла поворота вала как функции времени.

При работе исполнительные ДПТ должны удовлетворять следующим требованиям:

обладать высоким быстродействием, т. е. иметь малую электромеханическую постоянную времени;

иметь низкое электропотребление.

В конструктивном отношении выделяют исполнительные ДПТ с полым ротором, с дисковым ротором и с беспазовым якорем. Для них характерны следующие конструктивные особенности;

возбуждение производится от постоянных магнитов из сплава альнико (AlNiCo);

для улучшения процесса коммутации и повышения устойчивости к токовым перегрузкам используется гладкий, беспазовый якорь (ротор) [3].

Исполнительный механизм выключателя — совокупность механических деталей и узлов, обеспечивающих замыкание и удержание в этом состоянии контактов выключателей (рис. 51).

Силовые выключатели приводятся в действие вручную или с помощью специального привода. Исполнительный механизм обеспечивает помимо указанных функций скачкообразное изменение положения подвижного контакта относительно неподвижного при включении и отключении выключателя. Это позволяет ускорить процесс дугогашения на контактах. В некоторых случаях исполнительный механизм выключателя содержит блокировочный элемент, препятствующий случайному включению или отключению.

Испытание витковой изоляции — испытание обмоток трансформатора, предназначенное для выявления повреждения изоляции между отдельными витками, слоями и секциями обмоток.

При проведении испытаний к первичной обмотке трансформатора при разомкнутой вторичной обмотке прикладывается удвоенное напряжение повышенной частоты. Время действия испытательного напряжения (мин) определяется из соотношения

$$t_{\text{исп}} = 10\frac{f_{\text{ном}}}{f_{\text{исп}}}$$

и не должно превышать 2 мин. Измеренное значение тока в первичной обмотке проверяемого трансформатора сравнивается со значением, полученным на эталонном, исправном трансформаторе. Увеличение или колебание тока указывает на локальные повреждения изоляции.

Испытание обмоток трансформатора — проверка прочности электрической изоляции между активными и конструктивными элементами трансформатора.

Для маломощных трансформаторов используются следующие значения испытательных напряжений $U_{\text{исп}}$ при различном номинальном напряжении $U_{\text{ном}}$,

при $U_{\text{ном}}=42$ В $U_{\text{исп}}=1000$ В,

при $U_{\text{ном}}=42\div250$ В $U_{\text{исп}}=1500$ В,

при $U_{\text{ном}}=250\div380$ В $U_{\text{исп}}=2000$ В;

для мощных трансформаторов:

при $U_{\text{ном}}=0{,}5$ кВ $U_{\text{исп}}=2{,}5$ кВ,

при $U_{\text{ном}}=20$ кВ $U_{\text{исп}}=50$ кВ,

при $U_{\text{ном}}=110$ кВ $U_{\text{исп}}=220$ кВ.

Частота испытательного напряжения может изменяться в пределах от 40 до 62 Гц. Первоначальное значение приложенного напряжения не должно превышать значения $0{,}5U_{\text{исп}}$, которое затем увеличивается по истечении 10 с до необходимого значения и удерживается в течение 60 с. Целостность изоляции при испытаниях обмоток определяется визуально по возникновению тлеющих разрядов или по пробою, поскольку в последнем случае имеет место резкое увеличение тока в первичной обмотке трансформатора.

При проведении испытаний проверяется изоляция между обмотками, каждой обмоткой и магнитной системой и баком.

Испытания трансформатора — испытания, предназначенные для определения характеристик и параметров трансформаторов. Такие испытания позволяют определить номинальные значения тока и напряжения первичной и вторичной обмоток, коэффициент трансформации, напряжение короткого замыкания, группу соединения обмо-

ток, устойчивость к механическим и электрическим перегрузкам и т. д. Полученные в результате испытаний данные должны с некоторой точностью соответствовать данным, указанным в техническом паспорте трансформатора.

Испытательное импульсное напряжение — напряжение, подаваемое с целью определения электрической прочности витковой, межслойной, межобмоточной и корпусной изоляции. Испытательное напряжение подается на выводы проверяемой обмотки трансформатора. Другие выводы этой и остальных обмоток подключаются к земле непосредственно или через измерительные резисторы. Повреждение витковой, межслойной, корпусной и межобмоточной изоляции определяется на слух по акустическим эффектам внутри трансформатора, а также визуально по осциллограммам тока и напряжения в обмотках.

Испытательное напряжение — предельно допустимое значение напряжения, выдерживаемое каким-либо элементом электрооборудования без повреждения его изоляции. Значение испытательного напряжения для различного вида оборудования оговаривается соответствующими ГОСТ и в несколько раз превышает номинальное напряжение.

К

Каскадная схема — схема регулирования частоты вращения электропривода переменного тока, в котором используется несколько асинхронных двигателей, имеющих гальваническую и механическую связи между собой.

В каскадной схеме обмотка статора первого асинхронного двигателя с фазным ротором подключается к трехфазной сети переменного тока, а обмотка ротора — к обмотке статора или ротора второго асинхронного двигателя. Второй двигатель может быть с фазным или короткозамкнутым ротором, а его обмотка статора может быть выполнена с другим, чем у первого двигателя, числом пар полюсов. При использовании в качестве второго двигателя асинхронного двигателя с фазным ротором в обмотку ротора обычно включается пусковой регулятор.

При подаче напряжения питания на обмотку статора первого двигателя оба они вращаются с низкой частотой. При отключении второго двигателя первый вращается с другой частотой. При работе только второго двигателя с другим числом пар полюсов может быть получена третья частота вращения электропривода. КПД такого электропривода значительно ниже КПД одиночного асинхронного электродвигателя. По этой причине в настоящее время каскадные схемы применяются довольно редко.

Катушка (К) — часть обмотки вращающейся электрической машины, выполненная из одного или нескольких проводов и имеющая прямоугольную или близкую к ней форму (рис. 52).

Как правило, К образована из нескольких соединенных последовательно витков. Значительно реже используется параллельное соединение витков К. Встречаются К, состоящие всего из одного витка. Каждая К состоит из активных (прямая и обратная стороны)

и лобовых частей. Активные части К расположены в пазу статора или ротора машины. В стержневых обмотках лобовые части называются соответственно передней и задней перемычками. Если смотреть на К со стороны ее выводов, то левая сторона является прямой, а правая — обратной стороной К. Начало и конец К определяются направлением ее намотки (право- или левоходовая).

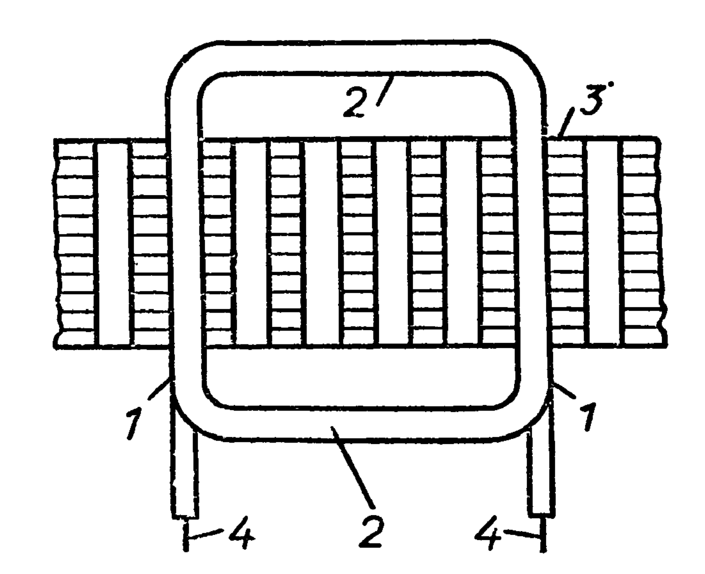


Рис. 52. Катушка:

1 — активная сторона катушки; *2* — лобовые части; *3* — пакет статора; *4* — выводы

Катушка с дробным числом пазов на полюс и фазу — катушка, ширина которой несколько больше или меньше длины полюсного деления машины. При выполнении обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу чаще применяют укорочение шага (рис. 53). Эти обмотки используются в тех случаях, когда количество пазов обмотки статора или якоря не кратно количеству полюсов машины.

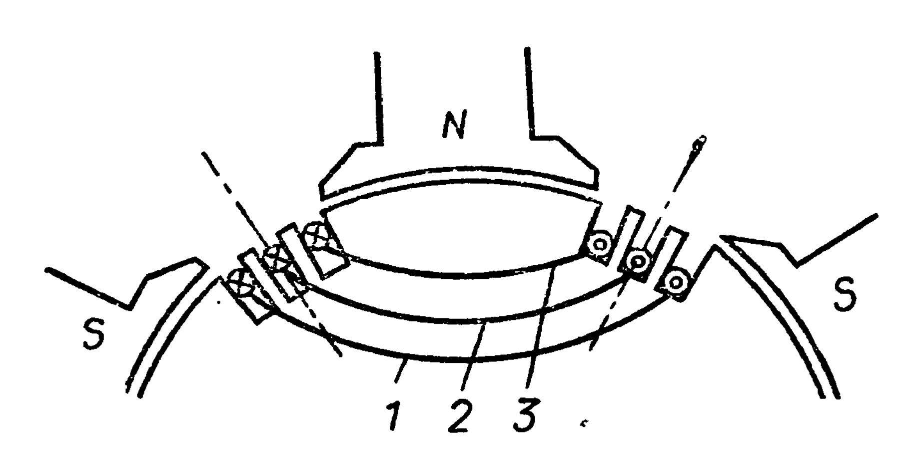


Рис. 53. Катушка с дробным числом пазов на полюс и фазу. Шаг катушки больше полюсного деления (*1*), равен ему (*2*) и меньше его (*3*)

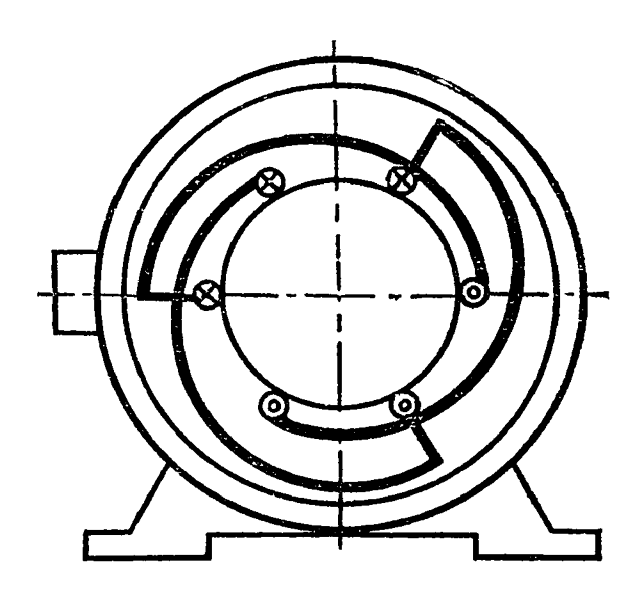


Рис. 54. Катушка с целым числом пазов на полюс и фазу

Катушка трансформатора — группа последовательно соединенных витков (более одного), конструктивно объединенная и отделенная от других таких же групп или обмоток трансформатора.

Обмотка трансформатора образуется из нескольких катушек. В зависимости от возникающих в конкретной конструкции трансформатора электрических, термических и механических нагрузок используются различные типы обмоток трансформатора. По способу расположения витков относительно оси катушки различают спираль-

ные катушки и катушки, намотанные внавал. Используются также дисковые катушки.

Катушка с целым числом пазов на полюс и фазу — катушка, ширина которой соответствует полюсному делению машины (рис. 54).

Катушечная обмотка — обмотка, сторона катушки которой образована одним или несколькими проводами.

При изготовлении таких обмоток используется провод круглого или прямоугольного сечения. Катушечные обмотки применяются при изготовлении обмоток якоря машин постоянного тока, обмоток статора машин переменного тока и обмоток возбуждения.

Класс защиты от поражения электрическим током — степень защиты электрооборудования от поражения электрическим током человека при непрямом прикосновении к токоведущим частям.

К первому классу относится электрооборудование, снабженное клеммой для подключения заземляющего провода. При использовании для подключения питания штекера в последнем предусмотрен заземляющий контакт.

Ко второму классу относится все электрооборудование, оснащенное защитной изоляцией.

К третьему классу относится электрооборудование, получающее питание на пониженном напряжении.

Электрооборудование, в котором отсутствуют указанные выше средства защиты от поражения электрическим током, относится к нулевому классу.

Класс изоляции — тип изоляционных материалов, соответствующий назначению, области применения, условиям эксплуатации и требованиям по электробезопасности элементов электрооборудования. Электрическая прочность изоляционного материала должна выбираться с учетом возможных тепловых, механических и электрических перегрузок.

Класс нагревостойкости изоляции — группа электроизоляционных материалов, обладающих одинаковой термической устойчивостью.

Срок службы обмоток электрических машин и аппаратов полностью определяется электрической, механической и термической прочностями электрической изоляции (витковой, корпусной, пазовой, межслойной и т. д.). В зависимости от класса нагревостойкости используемого в обмотке электроизоляционного материала должен поддерживаться такой режим работы электрической машины, при котором температура обмотки не превышает предельно допустимого для данного класса значения. Класс нагревостойкости изоляции обозначается прописными буквами латинского алфавита, причем каждому классу соответствует своя предельно допустимая температура: А — 105; Е — 120; В — 130; Г — 155; Н — 180 °С.

К классу А принадлежат пропитанные электротехническим лаком или маслом хлопок, бумага, картон или шелк. К классу Е относятся лакоткань, смола и другие материалы с аналогичными свойствами. Класс В включает асбест, стекловолокно, резину, армированную синтетическим материалом волокнистой структуры.

Класс точности определяет предельно допустимую погрешность показаний измерительных приборов и трансформаторов.

Обычно он обозначается с помощью десятичных дробей, например 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 и т. д. Точность того или иного прибора снижается по мере увеличения цифры, обозначающей класс точности. Если измерительный прибор обладает, например, классом точности

0,5, то это означает, что при измерении соответствующего параметра значение абсолютной погрешности не превысит ±0,5 %.

Для измерительных трансформаторов тока класс точности указывается при условии, что коэффициент мощности нагрузки равен 0,8 и нагрузка трансформатора изменяется в пределах от 25 до 100 % номинальной. В том случае, если заводом-изготовителем не сделана соответствующая оговорка, допускается кратковременная перегрузка измерительных трансформаторов на 20 % [6].

Клеммная колодка (КК) — пластина квадратной или прямоугольной формы, выполненная из прочного электроизоляционного материала, на которой закреплены контактные штифты для присоединения выводов обмоток электрических машин и проводов внешних электрических цепей. Пластина крепится на корпусе электрических машин и, как правило, закрывается коробкой. Выводы обмоток и провода внешних электрических цепей присоединяются к КК посредством пайки или винтового соединения. В корпусе электрической машины вырезается окно, предназначенное для вывода концов обмоток, а внешние соединительные провода подводятся к КК через специальное отверстие клеммной коробки. Для предотвращения ошибочного включения обмоток используется маркировка выводов, оговоренная соответствующими ГОСТ. Трехфазные двигатели переменного тока содержат КК с тремя парами контактных штифтов, что позволяет соединять обмотки по схемам звезда и треугольник. В трехфазных двигателях с фазным ротором три штифта, как правило, закорачиваются. Двигатели постоянного тока и однофазные двигатели переменного тока содержат КК с числом контактных штифтов от двух до шести, электромашинные преобразователи — от шести до двенадцати. В конструктивном отношении КК должны соответствовать степени защиты электрической машины от внешних воздействий и длительно выдерживать номинальный ток.

Кнопочная блокировка — схема защиты, действие которой сохраняется только при нажатии блокировочной кнопки.

Блокировочная кнопка, аналогичная кнопке «Стоп», включается последовательно с обмоткой реле защиты или контактора включения электродвигателя. Кнопка позволяет обеспечить гарантированное отключение электропривода механизма, в результате чего устраняется вероятность прикосновения к подвижным частям механизма. Для повышения надежности блокировки используют две включенные последовательно блокировочные кнопки.

Колебательный контур — электрическая цепь, в которой может возникать колебательная составляющая свободного тока.

Под свободным током понимается ток, протекание которого в контуре не обусловлено действием внешних источников электроэнергии. Наиболее распространен колебательный контур, составленный из индуктивности и емкости. Колебания составляющей свободного тока возникают в результате периодического преобразования запасенной в индуктивности электромагнитной энергии в энергию электростатического поля заряженного конденсатора и обратного преобразования. При определенном сочетании параметров индуктивности и емкости в колебательном контуре возникают резонансы токов и напряжений, сопровождающиеся резким увеличением амплитуды последних [1].

Колебательный элемент задержки — элемент задержки, выходной сигнал которого имеет синусоидальный характер и возникает после подачи на вход тестового сигнала.

Колебательный элемент задержки содержит несколько различных звеньев. В зависимости от значения коэффициента затухания на выходе элемента задержки возникают затухающие или незатухающие синусоидальные колебания. В первом случае по истечении некоторого времени выходной сигнал принимает установившееся значение, во втором этого не происходит.

Коллектор — элемент конструкции электрической машины, обеспечивающий протекание электрического тока в контуре, образованном обмоткой якоря и внешней цепью.

Обычно коллектор состоит из нескольких проводящих коллекторных пластин-ламелей трапецеидальной формы, равномерно распределенных по окружности и закрепленных на цилиндрической детали из электроизоляционного материала. Между пластинами отсутствует гальваническая связь. Ламели могут крепиться к поверхности цилиндрической детали при помощи клея, винтов (рис. 55) или бандажных колец.

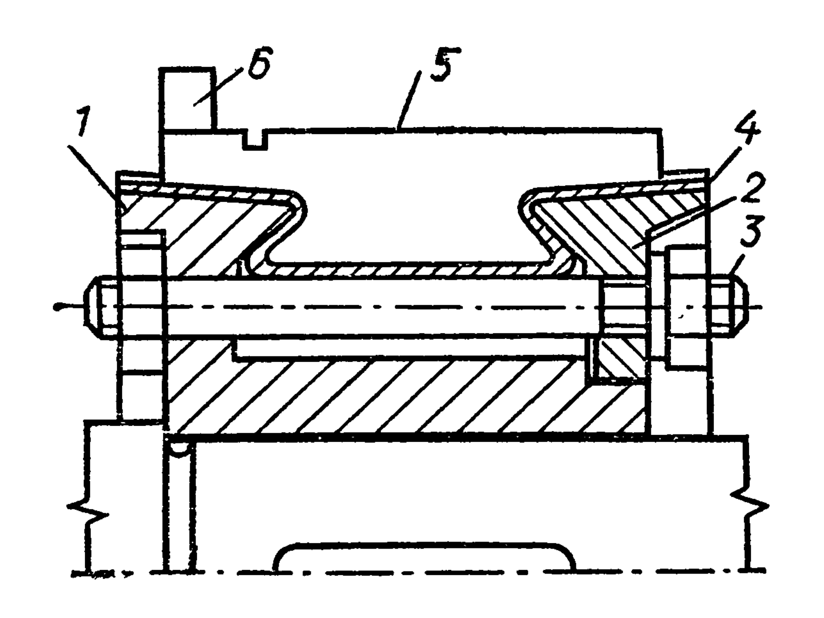


Рис. 55. Коллектор:

1 — тело коллектора; *2* — нажимное кольцо; *3* — шпилька; *4* — миканитовая манжета; *5* — ламель; *6* — вывод для подключения секции обмотки якоря

При использовании первого способа крепления ламелей коллектор относится в отличие от двух других случаев к неразборным конструкциям. Первый способ используется для машин малой мощности, остальные способы — для машин средней и большой мощности.

Во время работы коллектор испытывает значительные механические и тепловые перегрузки и поэтому требует тщательного ухода в процессе эксплуатации электрической машины. Особенно важно следить за тем, чтобы поверхность коллекторных пластин оставалась чистой, свободной от грязи, нагара и посторонних предметов, могущих привести к замыканию двух и более ламелей. Наиболее просто эта задача решается путем периодической чистки и полировки ламелей [9].

Коллекторная машина переменного тока — коллекторная машина, предназначенная для включения в сеть переменного тока. Обычно эти машины выполняются как однофазными, так и многофазными и по своим регулировочным характеристикам близки к электродвигателям постоянного тока, т. е. обеспечивают плавное регулирование частоты вращения в сравнительно большом диапазоне при малых потерях мощности.

Первая коллекторная машина была создана Томсоном уже в 1883 г. (репульсионный двигатель). В 1890 г. Дери усовершенствовал этот двигатель, но только с 1923 г. началось широкое использо-

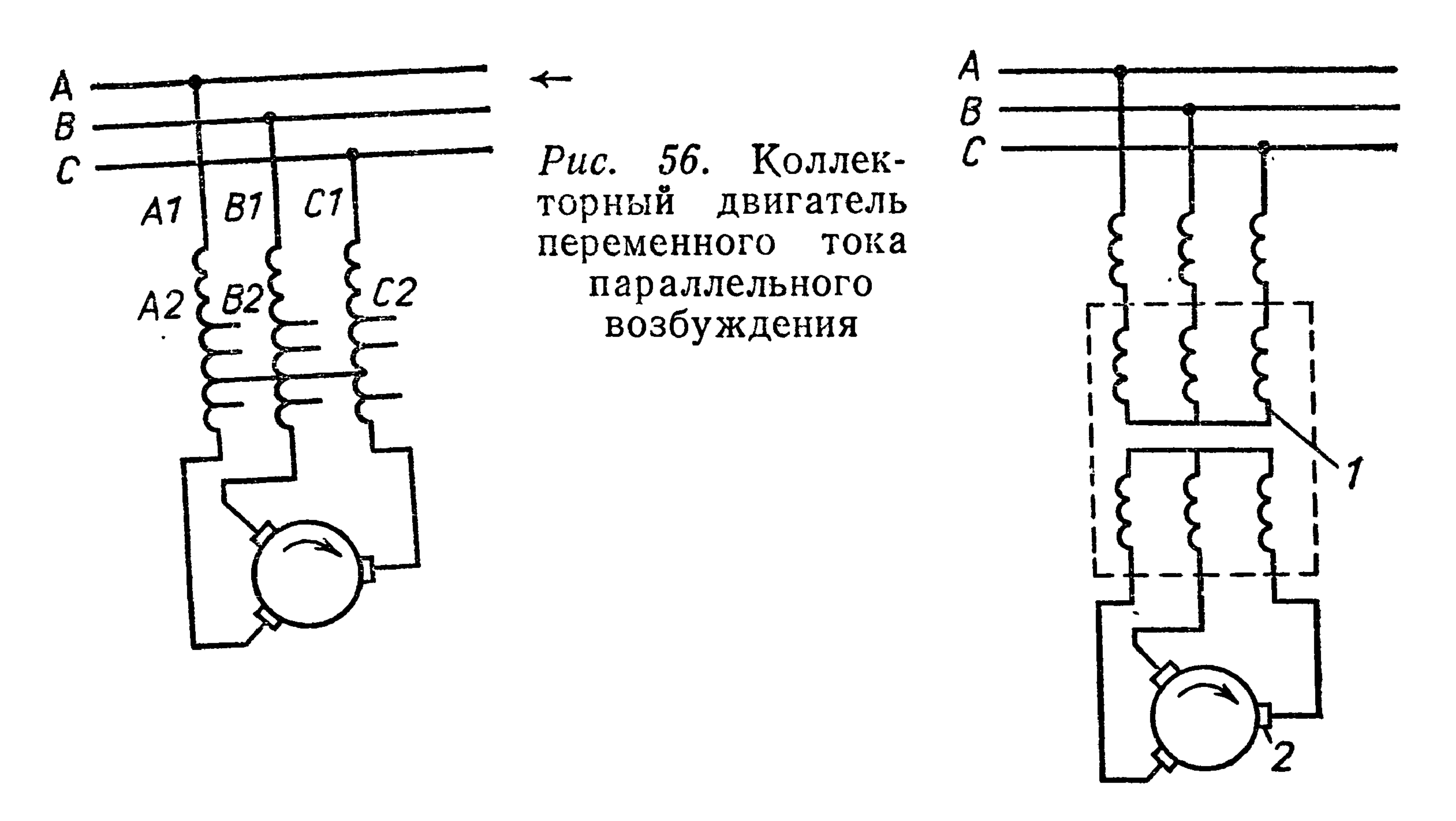


Рис. 56. Коллекторный двигатель переменного тока параллельного возбуждения

Рис. 57. Коллекторный двигатель переменного тока последовательного возбуждения:

1 — согласующий трансформатор; *2* — регулирующие щетки

вание трехфазных коллекторных машин в различных отраслях промышленности. В связи с интенсивным развитием силовой полупроводниковой техники коллекторные машины переменного тока в настоящее время потеряли свое значение и используются весьма редко [2].

Коллекторная трехфазная машина (коллектор).

Коллекторный двигатель переменного тока параллельного возбуждения — коллекторный двигатель переменного тока, у которого обмотка ротора включена параллельно с обмоткой статора непосредственно или через трансформирующее устройство.

Двигатель содержит трехфазную обмотку на статоре (рис. 56), являющуюся первичной обмоткой, а на роторе — вторичную обмотку, соединенную со статорной обмоткой через комплект неподвижных щеток. Дополнительное напряжение подается в цепь ротора от отпаек статорной обмотки или от вспомогательной обмотки, также уложенной в пазы статора. Изменение знака дополнительного напряжения осуществляется переключением концов или отпаек обмотки статора, соединенных между собой (x_2, y_2, z_2). При изменении знака указанного напряжения двигатель переходит с подсинхронной частоты вращения на сверхсинхронную.

Рассматриваемые двигатели выполняются на небольшую мощность (около 2 кВт), поскольку на больших мощностях преимущество получает асинхронно-вентильный каскад. Основная область применения — в целлюлозной и химической промышленности, а также для приводов компрессоров и маломощных волочильных агрегатов [2].

Коллекторный двигатель переменного тока последовательного возбуждения — коллекторный двигатель переменного тока, обмотка ротора которого непосредственно или через трансформатор последовательно соединена с обмоткой статора.

Конструктивно статор этого двигателя практически не отлича-

ется от статора обычного асинхронного двигателя. На роторе расположена обмотка, аналогичная обмотке якоря машины постоянного тока. Щеточно-коллекторный узел содержит три или шесть щеток. При высоком напряжении питания для согласования напряжения обмоток статора и ротора используется согласующий трансформатор. В случае применения разомкнутой обмотки статора используются шесть щеток. Ввиду того что через согласующий трансформатор передается только мощность скольжения, его масса и габариты определяются диапазоном регулирования частоты вращения и установленной мощностью двигателя.

Благодаря обеспечению возможности встречного вращения электромагнитных полей статора и ротора реализуется длительный режим работы с регулируемой частотой вращения при малых потерях. Регулирование производится (рис. 57) смещением щеток по окружности ротора или при помощи поворотного трансформатора при неподвижных щетках. Диапазон регулирования равен 1 : 2 при номинальной нагрузке. При меньшей нагрузке диапазон регулирования увеличивается до 1 : 3, 1 : 4.

Данные двигатели используются для электроприводов производственных механизмов, требующих больших пусковых моментов, плавного пуска и торможения с учетом изменяющегося характера нагрузки, т. е. для электроприводов вентиляторов, насосов, компрессоров, прессов, конвейеров и подъемных механизмов [2].

Количество электричества — величина, равная произведению силы тока на время, в течение которого шел ток [7]. Условное обозначение — Q, единица измерения — кулон (К):

$$Q = It,$$

где I — сила тока; t — время.

Колодочный тормоз — механическая часть тормозного устройства, чрезвычайно прост в изготовлении и отличается высокой надежностью. В большинстве случаев тормоз имеет две колодки, охватывающие с двух сторон тормозное колесо или тормозной барабан, причем профиль внутренних поверхностей колодок соответствует внешнему профилю тормозного колеса. Находят также применение тормоза, в которых тормозные колодки расположены внутри тормозного колеса и при срабатывании тормоза прижимаются внешними поверхностями к внутренней поверхности указанного колеса. Развиваемый тормозной момент зависит от температуры и влажности окружающей среды.

Кольцевая разрезная магнитная система — магнитная система трансформаторов малой мощности, состоящая из двух полуколец. Обычно такая система изготовляется из кольца магнитомягкой стали, которое отжигается и затем разрезается пополам. На полученные таким путем полукольца надеваются кольцевые обмотки и затем половинки магнитной системы вновь склеиваются в виде кольца. Воздушный зазор в месте стыка получается очень незначительным.

Комбинационная схема — разновидность логической схемы, сигнал на выходе появляется только при вполне определенной комбинации входных сигналов (логических 1 и 0). Широко используется в цифровых системах автоматического управления и регулирования.

Коммутационная способность силового выключателя характеризуется значением тока в цепи главных контактов, коммутация которого не приводит к повреждению указанных контактов. Коммутационная способность выключателей должна выбираться с учетом

максимального значения тока в коммутируемой цепи при коротком замыкании. В мощных электрических цепях токи короткого замыкания могут достигать нескольких десятков тысяч ампер.

Коммутационная способность электрического аппарата — физическая величина, отражающая способность электрического аппарата отключать электрическую цепь при номинальном напряжении и токе короткого замыкания без повреждения аппарата. Коммутационная способность выражается в виде произведения тока и напряжения и в современных электрических аппаратах колеблется от 250 до нескольких десятков тысяч мегавольт-ампер. На практике коммутационная способность достаточно полно характеризуется предельным значением тока электрической цепи.

Коммутация тока в коллекторной машине — периодическое переключение секций обмотки якоря машины постоянного тока с целью поддержания заданного направления тока в обмотке. В машинах постоянного тока коммутация осуществляется с помощью коллектора, являющегося механическим выпрямителем переменного тока.

Компаундный генератор (генератор постоянного тока со смешанным возбуждением).

Компенсационная обмотка (полюсные обмотки).

Компенсация сдвига фаз — устранение фазового смещения между током и напряжением в цепи переменного тока.

В процессе работы электродвигатели, трансформаторы, дроссели потребляют реактивную мощность, затрачиваемую на намагничивание магнитных систем указанного оборудования. Реактивная мощность дополнительно нагружает питающую сеть, что приводит к нагреву ее проводов. При этом ток отстает от напряжения на некоторый угол, называемый *углом сдвига фаз*. Для устранения негативного влияния реактивного тока применяют компенсацию сдвига фаз с помощью конденсаторных батарей, включаемых параллельно указанным потребителям. В этом случае реактивный ток циркулирует в контуре, образованном конденсаторной батареей и обмоткой электродвигателя трансформатора, и не проникает в питающую сеть. При этом может быть получен коэффициент мощности, равный единице.

Комплект из шести щеток (коллекторная машина переменного тока последовательного возбуждения).

Комплект щеток переменного тока (электромашинный преобразователь частоты).

Конденсатор (К) — элемент электрической цепи, предназначенный для использования его емкости.

В электрических цепях постоянного тока К используется как накопитель энергии. В цепях переменного тока К часто используется как резистор, сопротивление которого обратно пропорционально частоте напряжения. В простейшем случае К состоит из двух расположенных параллельно электропроводящих пластин, между которыми находится диэлектрик, например воздух. В зависимости от конструктивных особенностей и технологии изготовления различают К с постоянной и переменной емкостью, а также К бумажные, электролитические, керамические и т. д.

В реальных устройствах входящие в них различные элементы или детали часто образуют совокупность элементов проводник — диэлектрик — проводник, следствием чего является возникновение нежелательных связей между теми электрическими цепями, между которыми эти связи не предусмотрены или не желательны (эквива-

лентная емкость между витками обмоток, между проводами кабельной и воздушной линий и т. д.). Указанные связи относятся к паразитным, поскольку приводят к изменению режима работы электрической цепи и часто являются причиной возникновения аварийных режимов работы [1].

Конструктивное исполнение контактов определяется многими факторами, к основным из которых относятся: номинальный ток и ток короткого замыкания, эффективность дугогашения; термическая устойчивость, частота включений, переходное сопротивление контактов, дребезг контактов. В коммутационных аппаратах низкого напряжения, как правило, используются плоские контакты. В коммутационных аппаратах высокого напряжения широко используются ножевые контакты, оснащенные быстродействующими механизмами. В слаботочных реле преимущественно используются точечные контакты, изготовляемые из благородных металлов.

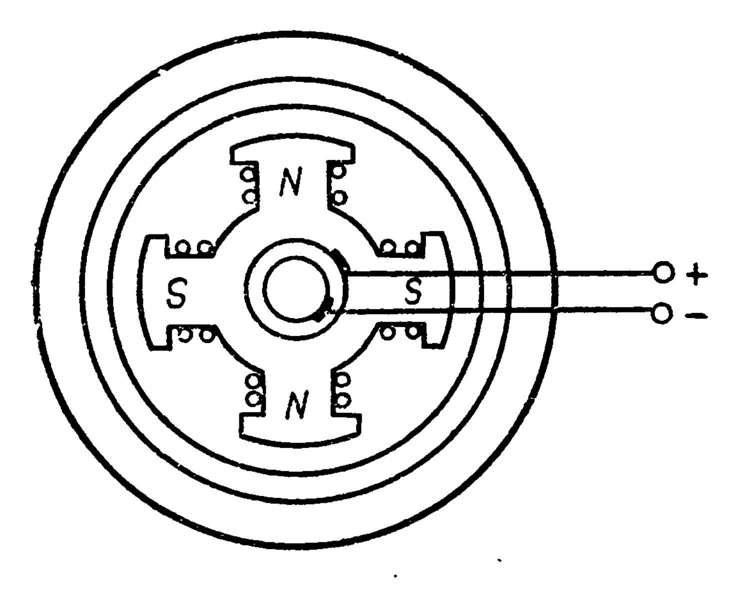


Рис. 58. Конструкция машины с чередующимися полюсами

Конструктивное исполнение по способу монтажа — конструктивные особенности вращающихся электрических машин, характеризующие способ их монтажа и раскрываемые с помощью классификации и условных обозначений, принятых в стандарте СЭВ [12]. По указанному признаку машины делятся на девять групп, в каждой из которых возможно восемь вариантов исполнения концов вала.

Конструкция машины с чередующимися полюсами — конструктивное исполнение индуктора синхронной машины, в котором полюсы расположены друг за другом с чередующейся полярностью.

В отличие от машины с нечередующимися полюсами в этой машине за северным полюсом следует южный, за южным — северный и т. д. На рис. 58 представлена схема расположения полюсов индуктора синхронной машины.

Контакт (К) — один из основных элементов контактных систем электрических коммутационных аппаратов, предназначенный для непосредственного пропускания электрического тока.

По форме и используемым материалам К характеризуются очень большим разнообразием. В аппаратах К разделяют на две группы — подвижные и неподвижные. Первые из них прижимаются к неподвижным К или отводятся от них с помощью исполнительного механизма. При высокой частоте включения и индуктивном характере нагрузки происходит механический износ и оплавление К. Поэтому конструкция контактной системы должна предусматривать замену К при ремонте и профилактических осмотрах. Неподвижные К крепятся обычно с помощью винтов, подвижные — в специальных держателях с пружиной. В некоторых конструкциях коммутационных аппаратов используются вспомогательные К цепи главного тока, включенные параллельно основным К и принимающие на себя электрическую дугу. Вспомогательные К при отключении и включении аппарата соответственно замыкаются раньше и размыкаются

позже основных К, что позволяет уменьшить износ последних. Материал К должен обладать высокой механической и термической устойчивостью и низким значением сопротивления.

Контактная система — важнейший функциональный узел коммутационных аппаратов (реле, контакторов, выключателей и т. д.). Конструктивное исполнение контактной системы зависит от конструкции аппарата и от величины подаваемого на контакты напряжения, а также от способа присоединения к ним токоведущих проводов. Контактная система характеризуется количеством, типом (замыкающие, размыкающие) и взаимным расположением контактов. Последние также различаются по способу размыкания электрической цепи — с одинарным и с двойным размыканием. Последний способ используется в коммутационных аппаратах высокого напряжения с целью облегчения гашения электрической дуги на контактах. В этом случае основные контакты замыкаются позже, а размыкаются раньше вспомогательных контактов, которые и используются для гашения дуги. Элементы коммутационного аппарата должны быть скомпонованы таким образом, чтобы исключить влияние дугообразования на работу электромагнита аппарата.

Контактное кольцо (КК) — токоведущий элемент вращающейся электрической машины, установленный на ее валу и предназначенный для передачи тока на вращающиеся обмотки переменного или постоянного тока.

Обычно КК изготовляются из меди, стали или различных сплавов и их количество изменяется от двух до шести в зависимости от типа и назначения электрической машины. Каждое КК крепится на обойме из электроизоляционного материала и изолировано от других КК и от вала машины. Выводы обмоток ротора подключаются к КК. Кольца крепятся на обойме посредством опрессовки, винтов или литья. В машинах малой мощности КК помещаются в указанную обойму в процессе ее изготовления. В машинах большой мощности КК выполняются съемными, что облегчает их замену и ремонт. В машинах переменного тока иногда предусматривается приспособление для подъема щеток и закорачивания КК, благодаря чему увеличивается срок их службы [3].

Контактный термометр — устройство, входящее в блок тепловой защиты трансформатора.

Контактный термометр предотвращает перегрев трансформатора. Он выполнен в виде капсулы цилиндрической формы, которая закрепляется посредством резьбового соединения в крышке масляного бака. При достижении максимально допустимой температуры масла происходит замыкание контактной пары, расположенной внутри капсулы. Указанная контактная пара включает устройство сигнализации и дополнительный контур охлаждения.

Контактный элемент — один из основных элементов коммутационной аппаратуры, предназначенный для замыкания и размыкания электрических цепей.

К контактным элементам относятся подвижные и неподвижные контакты, контактодержатели, возвратные пружины и клеммы для присоединения проводов. Контактные элементы должны без повреждения выдерживать ток короткого замыкания и обладать высокой термической устойчивостью. Провода, присоединенные к подвижному контакту, должны обладать высокой механической прочностью и гибкостью.

Контактор (К) — двухпозиционный аппарат с самовозвратом,

предназначенный для частых коммутаций токов, не превышающих токи перегрузки, и приводимый в действие двигательным приводом.

Обычно К включается и удерживается во включенном состоянии с помощью электромагнита, вследствие чего в нем отсутствует исполнительный механизм механического типа. Указанный электромагнит включается, как правило, с помощью электрической кнопки. Помимо главных контактов К содержит замыкающиеся и размыкающиеся блок-контакты, используемые в схемах управления для сигнализации и взаимосвязи с другими цепями управления. Для питания обмотки электромагнита К используется, как правило, напряжение питающей сети. Для повышения электробезопасности в отдельных случаях для этой цели используется вспомогательный источник пониженного напряжения 12—36 В. Главные контакты могут помещаться в воздушную или масляную дугогасительную камеру, что способствует повышению их срока службы. Для защиты от перегрева и коротких замыканий в К используются соответственно тепловые реле и расцепитель максимального тока (так же как и в пускателях) [5].

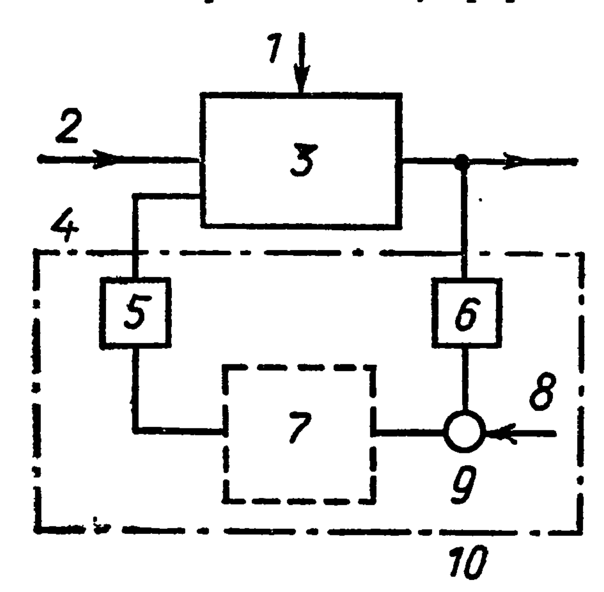


Рис. 59. Контур регулирования:

1 — возмущающее воздействие; *2*, *3* — параметр и объект регулирования; *4* — контур обратной связи; *5* — регулятор; *6* — датчик; *7* — усилитель; *8* — задающее воздействие; *9* — элемент сравнения; *10* — система регулирования

Контур охлаждения трансформатора — составная часть системы охлаждения масляного трансформатора, в которой циркулирует хладагент.

Система охлаждения включает, как правило, внешний и внутренний контуры. В сухих трансформаторах отбор тепла осуществляется через боковые поверхности обмоток и магнитную систему, что совершенно недостаточно для мощных трансформаторов. В последних обеспечивается естественная циркуляция воздуха или масла за счет перемещения нагретой массы воздуха или масла вверх и опускания вниз части хладагента с более низкой температурой. Такие контуры охлаждения называются замкнутыми.

В масляных трансформаторах отбор тепла от активных частей производится посредством масла, которое в свою очередь отдает тепло стенкам бака, с поверхности которого тепло передается в окружающее пространство.

Контур регулирования — совокупность элементов системы автоматического регулирования, предназначенная для компенсации возмущающих воздействий с целью поддержания параметра регулирования на заданном уровне.

В простейшем случае в контур регулирования входят объект регулирования, регулятор, задатчик, датчик параметра регулирования и элемент сравнения (рис. 59).

Конусный тормоз — механическая часть электромеханического тормозного устройства. Он состоит из конического тела, вращающегося на валу электродвигателя, и муфты с полостью конической формы, имеющей возможность перемещаться в аксиальном направлении относительно вала двигателя. При наличии механического контакта поверхности конического тела с поверхностью полости возникает тормозной момент, обусловленный силами трения. Конусный тормоз используется в грузоподъемных механизмах и в электроприводах металлорежущих станков для регулирования частоты вращения и для фиксации производственных механизмов в заданном положении.

Короткое замыкание генератора — состояние вращающегося возбужденного генератора при замкнутых накоротко выводах цепи обмотки якоря.

При КЗ генератора с последовательным возбуждением через обмотку якоря и обмотку возбуждения протекает большой ток, ограничиваемый только сопротивлениями обмоток, которые при этом быстро нагреваются. Магнитная система генератора находится в состоянии насыщения, и соответствующий ему поток возбуждения и ток обмотки якоря создают большой тормозной момент, что приводит к быстрой остановке генератора.

При КЗ генератора с параллельным возбуждением шунтирование обмотки якоря приводит к шунтированию и обмотки возбуждения, вследствие чего поток возбуждения практически определяется только остаточным намагничиванием полюсов. Возникающее от остаточного потока напряжение на обмотке якоря значительно меньше номинального. Это приводит к тому, что при внезапном КЗ генератора с параллельным возбуждением происходит резкое снижение создаваемого им момента сопротивления, приложенного к валу первичного двигателя. Последний увеличивает частоту вращения, что в свою очередь приводит к увеличению тока КЗ генератора и к увеличению создаваемого им момента сопротивления.

При внезапном КЗ генератора одно- и трехфазного переменного тока возникает ударный ток КЗ, который снижается затем до установившегося значения тока КЗ. Обмотки генераторов переменного тока в данном режиме испытывают значительные механические и тепловые напряжения, поскольку ток КЗ генераторов переменного тока имеет реактивный характер. При возникновении КЗ происходит резкое снижение момента сопротивления, создаваемого генератором на валу первичного двигателя, так как реактивный ток не создает активного момента [8].

Короткое замыкание электрической машины — состояние вращающегося возбужденного генератора или трансформатора при замкнутых накоротко выводах обмотки якоря или вторичной обмотки соответственно.

При коротком замыкании выходное напряжение снижается до нуля и полностью прекращается передача мощности к электропотребителям. В этом режиме работы электрические машины испытывают значительные механические и тепловые перегрузки, значения которых зависят от конструктивных особенностей и параметров машин.

Короткозамкнутая обмотка (КО) — обмотка электрических машин переменного тока, выполненная в виде стержней из меди или алюминия, концы которых гальванически соединены между собой.

Стержни КО укладываются в пазы ротора асинхронной машины или в пазы полюсов синхронной машины. В последнем случае КО

используется для асинхронного пуска синхронных двигателей (рис. 60, *а—в*). По способу выполнения различают КО, изготовляемые посредством литья и посредством пайки или сварки. В последнем случае стержни КО укладываются в пазы магнитопровода ротора или полюсов и к выступающим концам стержней припаиваются или привариваются кольца из меди, алюминия или бронзы. При от-

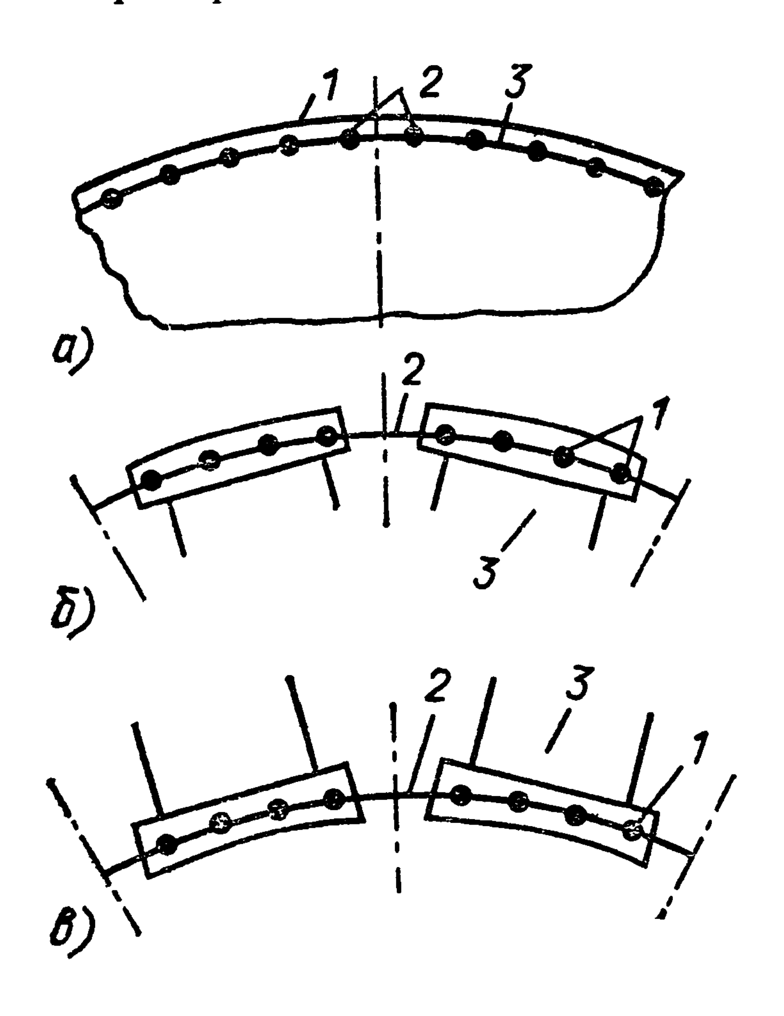


Рис. 60. Короткозамкнутая обмотка:

а — беличья клетка: *1* — шихтованный ротор; *2* — стержни обмотки; *3* — короткозамыкающее кольцо; *б* — демпферная обмотка синхронной машины с внутренними полюсами: *1* — стержни; *2* — кольцо; *3* — полюс; *в* — демпферная обмотка синхронной машины с внешними полюсами: *1* — стержень; *2* — кольцо; *3* — полюс

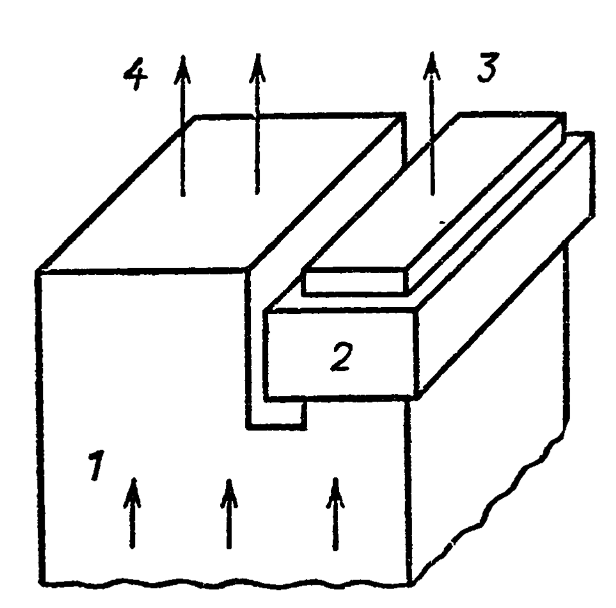


Рис. 61. Короткозамкнутое кольцо:

1 — ярмо коммутационного аппарата; *2* — короткозамкнутое кольцо; *3*, *4* — вспомогательный и основной магнитные потоки

ливке КО, как правило, используются алюминий или его сплавы. Без магнитопровода КО напоминают клетку, вследствие чего такие обмотки называют также «беличья клетка».

Короткозамкнутое кольцо (КК) — медное кольцо, устанавливаемое на торце ярма электромеханического коммутационного аппарата переменного тока. Обычно КК устанавливается на торце ярма контактора или реле (рис. 61), обращенном к якорю. Оно проявляет себя как короткозамкнутая вторичная обмотка трансформатора, т. е. создает собственный магнитный поток в результате изменения внешнего потока в воздушном зазоре и наведения ЭДС в КК. При этом амплитудное значение магнитного потока КК смещено относи-

тельно амплитудного значения магнитного потока, созданного обмоткой контактора или реле. По этой причине результирующий магнитный поток, равный векторной сумме указанных потоков, никогда не принимает нулевого значения, хотя переменный ток, а следовательно, и поток, создаваемый обмоткой, периодически имеют нулевое значение. В результате указанного преимущества тяговое усилие, развиваемое электромагнитом, также не обращается в нуль, что позволяет исключить вибрацию магнитной и контактной систем.

Аналогичный технический прием используется в двигателях с расщепленными полюсами, в которых магнитный поток КК вместе с основным магнитным потоком создает результирующее вращающееся электромагнитное поле, что делает возможным его запуск без дополнительных устройств. Направление вращения ротора этого двигателя зависит от положения КК.

Короткозамыкатель — коммутационный электрический аппарат, предназначенный для создания искусственного короткого замыкания в электрической цепи.

При повреждении или загрязнении изоляции в электрических цепях возникает электрическая дуга, гашение которой осуществляется с помощью короткозамыкателя, шунтирующего поврежденный участок электрической цепи. После этого срабатывает система защиты от коротких замыканий и посредством силового выключателя отключает поврежденный участок [5].

Корпусное напряжение — напряжение, возникающее на корпусе электрической машины при повреждении изоляции токоведущих частей. Корпусное напряжение снижает электробезопасность установок, поскольку при прикосновении к корпусу человека наступает его поражение электрическим током (напряжение прикосновения).

Косвенный контроль температуры обмоток трансформатора — контроль температуры, используемый для тепловой защиты трансформатора.

Для оптимального использования трансформатора и исключения преждевременного срабатывания тепловой защиты необходимо знать температуру в наиболее горячей точке. Из активных частей трансформатора наибольшему нагреву подвергаются обмотки. Определение температуры внутри обмоток связано со сложностью введения внутрь обмоток датчиков температуры и, кроме того, приводит к значительным погрешностям.

Для устранения недостатков способа непосредственного контроля температуры обмоток трансформатора используется способ косвенного контроля. Для реализации последнего способа под крышкой бака трансформатора располагается измерительная обмотка, тепловая постоянная которой равна тепловой постоянной основной (первичной или вторичной) обмотки. Измерительная обмотка через трансформатор тока подключена к основной обмотке. Протекающий через измерительную обмотку ток приводит к изменению ее температуры, которое идентично изменению температуры основной обмотки. Температура измерительной обмотки достаточно точно может быть определена с помощью термометра или резистивного датчика температуры. Для устранения перегрева трансформатора необходимо снизить его нагрузку.

Коэрцитивная сила (петля гистерезиса).

Коэффициент магнитной связи (магнитная связь).

Коэффициент затухания (коэффициент демпфирования) — чис-

ленная величина, характеризующая способность системы регулирования к подавлению колебаний выходного сигнала.

Обычно этот коэффициент позволяет оценить динамические свойства системы регулирования. При коэффициенте затухания, равном единице, система не обладает склонностью к колебаниям, т. е. уровень выходного сигнала не превышает заданного значения во всем диапазоне изменения входного сигнала. При скачкообразном изменении последнего выходной сигнал через некоторое время постепенно принимает новое значение. При коэффициенте затухания, равном нулю, колебательный процесс в системе регулирования поддерживается сколь угодно долго. Если коэффициент затухания принимает значения между нулем и единицей, то вероятность возникновения колебаний и характер переходного процесса вообще будут определяться параметрами элементов системы регулирования (элемент задержки, колебательный).

Коэффициент мощности — величина, равная отношению активной мощности электрической цепи переменного тока к полной мощности этой цепи.

Условное обозначение — $\cos\varphi$:

$$\cos\varphi = P/S,$$

где P — активная мощность; S — полная мощность.

Угол φ является углом сдвига тока и напряжения электрической цепи. Для цепей одно- и трехфазного переменного тока желательно иметь $\cos\varphi$ максимально близкий к единице, поскольку в этом случае в питающих проводах отсутствует нагружающий их реактивный ток. При использовании компенсирующих устройств можно получить $\cos\varphi=1$ [1].

Коэффициент перегрузки ($k_п$) — коэффициент, определяемый через отношение максимально допустимого вращающего момента электродвигателя к его номинальному значению.

Для электродвигателей многих электроприводов характерны кратковременные броски момента нагрузки на валу, не приводящие к заметному увеличению температуры активных частей.

В двигателе постоянного тока параллельного возбуждения максимально допустимый вращающий момент определяется, с одной стороны, ухудшением условий коммутации коллектора и, с другой стороны, зависимостью характера изменения частоты вращения двигателя от нагрузки. Для данных двигателей $K_п=1,8$. В двигателе постоянного тока последовательного возбуждения $K_п=2,0\div2,5$.

Для асинхронного двигателя максимально допустимым моментом является критический или опрокидывающий момент, превышение которого приводит к снижению частоты вращения и полной остановке двигателя. В этом случае $K_п=2,0\div2,3$.

В синхронных двигателях $K_п=1,5\div2,0$, причем указанный запас выдерживается при медленном увеличении момента нагрузки на валу двигателя. При резком набросе нагрузки происходит резкое изменение угла устойчивости. Благодаря моменту инерции ротора переходный процесс несколько сглаживается, но запас устойчивости синхронного двигателя в динамике снижается, $K_п$ двигателя в динамике составляет около 80 % $K_п$ в статике.

В коллекторных машинах переменного тока значение $K_п$ ограничивается коммутационными способностями коллектора и составляет 1,5—1,8, для двигателей с последовательным возбуждением $K_п=2,0\div2,2$.

Коэффициент полезного действия (КПД) — величина, характеризующая полноту преобразования электрической энергии в другие виды энергии и обратного преобразования.

Условное обозначение — η:

$$\eta = P_{\text{ном}}/P_0,$$

где $P_{\text{ном}}$ — номинальная (используемая) мощность; P_0 — полная (подведенная) мощность.

При преобразовании электрической энергии в другие виды энергии часть исходной электрической энергии выделяется в виде потерь и утрачивается безвозвратно, в результате чего получаемая после преобразования мощность несколько (иногда значительно) меньше мощности, подаваемой на вход преобразователя. Процесс преобразования энергии считается максимально эффективным при $\eta=1$.

Ниже приведены значения КПД для некоторых электропотребителей:

Лампа накаливания	10 %
Двигатель с расщепленными полюсами	40 %
Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором	82 %
Трансформатор	96 %

Коэффициент потерь — характеристика, используемая для оценки качества электротехнической стали. Коэффициент потерь указывается для двух значений индукции (1,0 и 1,5 Тл) и представляет собой отношение потерь к массе стали (Вт/кг). Для горячекатаной стали при $B=1{,}0$ и 1,5 Тл соответственно коэффициент потерь — 1,4 и 3,1 Вт/кг, для текстурированной стали — 0,7 и 1,4 Вт/кг.

Коэффициент трансформации — коэффициент, равный отношению витков первичной и прочих обмоток трансформатора или напряжений на этих обмотках. Например, при напряжении на первичной обмотке 20 кВ и на вторичной обмотке 0,4 кВ коэффициент трансформации равен 50 [4].

Коэффициент трансформации напряжения — параметр, устанавливающий взаимосвязь между напряжениями первичной и вторичной обмоток трансформатора в зависимости от количества их витков. Он равен отношению витков первичной и вторичной обмоток или отношению первичного напряжения ко вторичному. Поэтому количество витков обмотки высшего напряжения всегда больше количества витков обмотки низшего напряжения [4].

Коэффициент трансформации по току — коэффициент, устанавливающий взаимосвязь между токами и напряжениями обмоток трансформатора под нагрузкой.

При пренебрежении током холостого хода или током намагничивания трансформатора можно принять, что токи в обмотках обратно пропорциональны напряжениям в них, т. е.

$$I_1:I_2 = U_2:U_1 \text{ или } I_1:I_2 = w_2:w_1.$$

По этой причине ток в обмотке высшего напряжения трансформатора всегда меньше по значению тока в обмотке низшего напряжения, сечение провода которой больше сечения провода обмотки высшего напряжения.

Кратковременный режим работы — режим работы электрической вращающейся машины, при котором работа с постоянной нагрузкой, продолжающаяся менее, чем необходимо для достижения установившейся температуры при неизменной температуре окружающей среды, чередуется с отключениями машины, во время которых она охлаждается до температуры окружающей среды (рис. 62) [8].

Крепление щетки — нетоковедущая часть электрической машины, предназначенная для крепления щеткодержателя и фиксируемая на коллекторе или контактном кольце посредством щеточной траверсы.

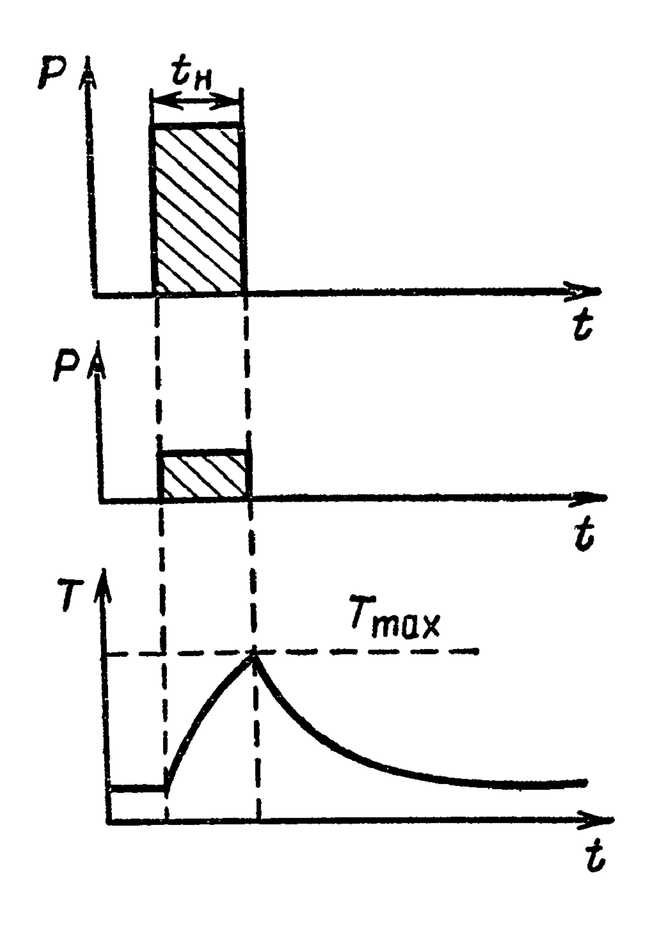


Рис. 62. Кратковременный режим работы:

$t_н$ — время приложения нагрузки; T — температура; P — мощность

Щетки обеспечивают надежный электрический контакт только при соответствующем положении относительно контактной поверхности и давлении на нее. Для этой цели служит нажимной кронштейн, имеющий различное конструктивное исполнение в зависимости от мощности и типа машины. В маломощных машинах функции кронштейна выполняет обычная пружина. В мощных машинах нажимной кронштейн выполнен в виде подпружиненной пластины, закрепленной одним концом на оси. Другим концом пластина упирается в торец щетки. В этом случае обеспечивается оперативная замена щетки. Щеточные траверсы крепятся на подшипниковом щите. В общем случае щеточный узел состоит из нескольких комплектов щеток, распределенных по окружности коллектора или контактных колец [9].

Кривая намагничивания (ферромагнитное вещество).

Критическая частота вращения — предельная частота вращения электрической машины с явновыраженными полюсами на роторе. Критическая частота зависит от длины вала и диаметра ротора электрической машины. При значительной длине вала может появиться его прогиб, что приводит к появлению магнитной асимметрии и к повышенному износу подшипников. Возникающие на больших частотах вращения ротора механические усилия могут привести к механическому разрушению ротора электрической машины.

Критический момент — максимальное значение момента нагрузки, при котором электродвигатель сохраняет работоспособность без резкого снижения частоты вращения. При превышении моментом нагрузки значения критического момента происходит остановка электродвигателя. Критический момент характеризует перегрузочную способность электродвигателя.

Круговая частота — физическая величина, предназначенная для

обозначения скорости изменения синусоидальной функции. Единица измерения — герц (Гц). Круговая частота определяется из выражения $\omega = 2\pi f$ [1].

Круговое магнитное поле (вращающееся эллиптическое поле).

Круговой огонь на коллекторе — дуговой разряд, возникающий по окружности коллектора между щетками разной полярности. Круговой огонь появляется при обрыве или коротком замыкании секций якорной обмотки, присоединенных к пластинам коллектора, при загрязнении последних, при нарушении механической прочности коллекторных пластин, а также при смещении щеток относительно геометрической нейтрали. Вероятность появления кругового огня увеличивается при отклонении геометрической формы коллектора от заданной, при снижении электрической прочности изоляции между коллекторными пластинами [9].

Кулон (Кл) — единица измерения количества электричества и электрического заряда: 1 Кл — заряд, переносимый через поперечное сечение проводника в 1 с при силе тока, равной 1 А.

Эта единица названа в честь французского физика Шарля Огюстен Кулона (1736—1806) [7].

Л

Ламель коллектора (коллектор).

Ламповый синхроскоп — схема контроля фазных напряжений синхронного генератора при подключении его на параллельную работу с другим синхронным генератором или с трехфазной сетью переменного тока.

Ламповый синхроскоп применяют для синхронизации генераторов малой мощности. Лампы накаливания подключаются к одноименным фазам синхронного генератора и внешней сети переменного тока (рис. 63). Для ограничения тока, протекающего через лампы, могут использоваться токоограничительные резисторы. При рассогласовании напряжений генератора и сети по частоте и фазе происходит последовательное свечение ламп, что позволяет судить об амплитуде и знаке рассогласования указанных параметров. При синхронизации фазных напряжений первая лампа *Л1* накаливания гаснет, а две другие лампы горят ровным светом. Если все лампы работают в режиме периодического мигания, то необходимо изменить последовательность чередования фаз генератора.

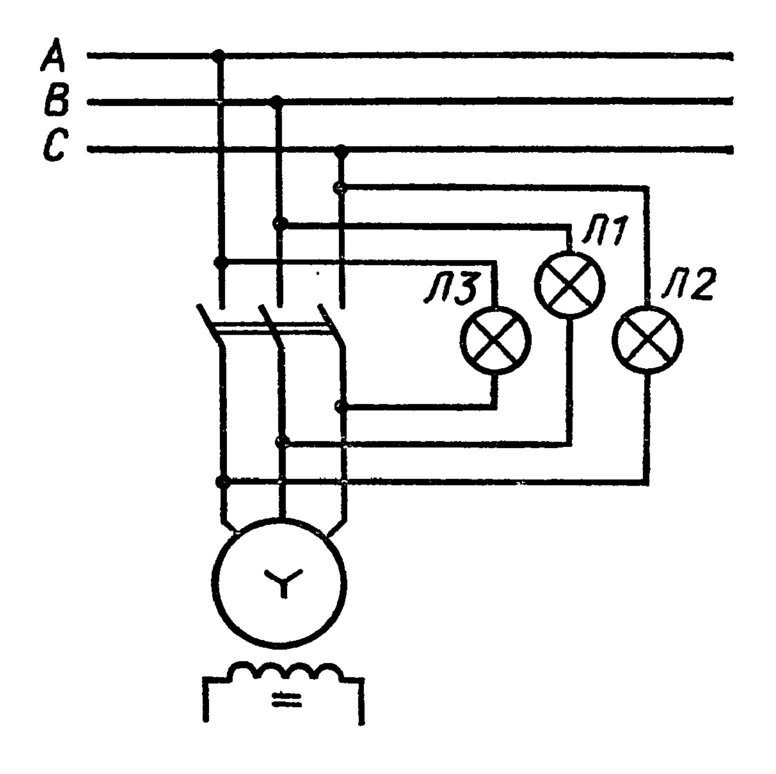


Рис. 63. Ламповый синхроскоп

Левоходовая петлевая обмотка (петлевая обмотка).

Ленточный тормоз — механическая часть тормозного устройства. Ленточный тормоз выполнен в виде стальной ленты, охватывающей тормозное колесо, благодаря

чему при сравнительно небольших усилиях, прикладываемых к ленте, обеспечивается большой тормозной момент вследствие большой площади соприкосновения рабочих поверхностей ленты и колеса. Тормозной момент зависит от направления вращения тормозного колеса, установленного на валу электродвигателя.

Линейное напряжение (схема соединения — звезда).

Линейное сопротивление — активное сопротивление, напряжение на зажимах которого прямо пропорционально протекающему через него току (рис. 64).

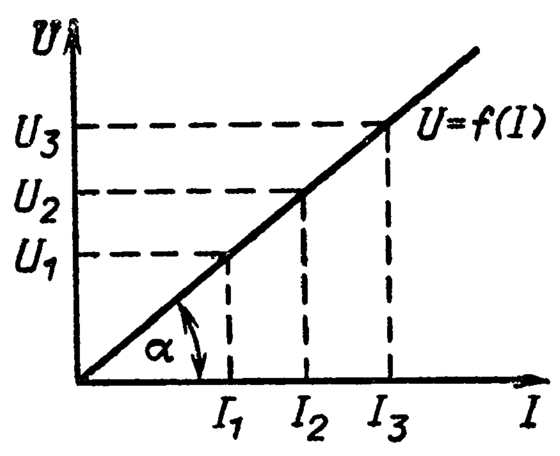


Рис. 64. Линейное сопротивление:

I и U — ток и напряжение

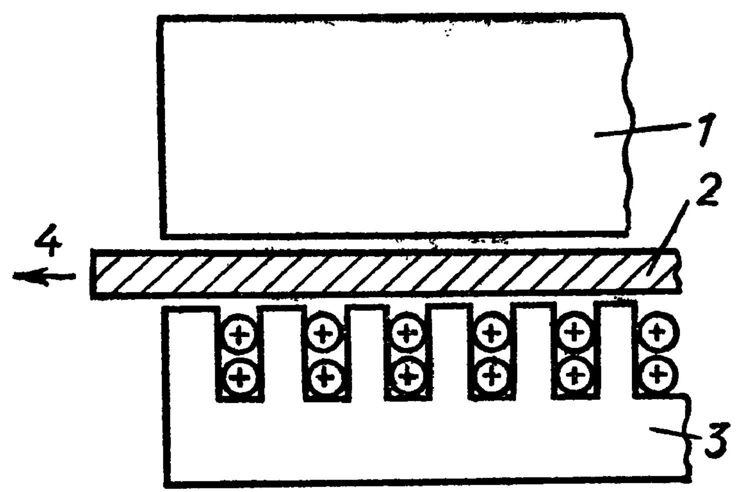


Рис. 65. Линейный двигатель:

1 — обратный магнитопровод; 2 — деталь из алюминия или меди; 3 — статор с обмоткой; 4 — направление движения

Зависимость $U=f(I)$ называют также *вольт-амперной характеристикой*, и, следовательно, линейное сопротивление имеет линейную вольт-амперную характеристику. Для большинства металлов и их соединений зависимость $U=f(I)$ остается линейной при неизменной температуре:

$$\frac{U_1}{I_1}=\frac{U_2}{I_2}=\frac{U_3}{I_3}=\text{const, т. е. } R=\text{const}.$$

Значение линейного сопротивления пропорционально тангенсу угла α наклона вольт-амперной характеристики.

Линейный двигатель — разновидность асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, совершающим поступательное, а не вращательное движение.

Магнитная система статора линейного двигателя выполнена в виде шихтованного основания с пазами, в которых уложена трехфазная обмотка переменного тока. Напротив пазов, на некотором расстоянии от основания расположена вторая часть магнитной системы статора, служащая для замыкания магнитного потока. В образованном неподвижными частями магнитной системы статора зазоре перемещается ротор, выполненный из медной или алюминиевой детали (рис. 65). При подключении обмотки статора к трехфазному переменному току на указанную деталь действует механическая сила, направление которой зависит от последовательности чередования фаз питающей сети. При этом деталь перемещается влево и вправо. Скорость перемещения детали зависит от частоты напря-

жения питающей сети, числа полюсов обмотки статора и скольжения. Как и в асинхронном двигателе, реверс линейного двигателя осуществляется переключением двух фазных проводов питающей сети [2].

Линейный ток (схема соединения — треугольник).

Логический элемент — элемент цифровой системы управления, сигнал на выходе которого определяется совокупностью входных сигналов.

Простейший элемент имеет два входа и один выход. В качестве источника энергии используется электрический ток, воздух или жидкость, обладающие некоторым давлением. Различают контактные и бесконтактные логические элементы. К первым из них относятся электромагнитные, ко вторым — электронные или полупроводниковые реле. Для двухвходового элемента логическим 0 или 1 на выходе соответствует определенное сочетание из аналогичных сигналов на входе. К элементарным относятся логические элементы ИЛИ, И, НЕ, НЕ—ИЛИ, поскольку любая логическая функция может быть реализована на базе указанных элементов.

x_1	x_0	y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$y=\overline{x_0 x_1}$

Рис. 66. Логический элемент И

x_1	x_0	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$y=x_0 \vee x_1$

Рис. 67. Логический элемент ИЛИ

Логический элемент И — один из основных элементов системы автоматического регулирования. Логический элемент И реализует логическую операцию конъюнкцию, сигнал логической 1 на выходе этого элемента появляется только при наличии сигналов логической 1 на всех его входах. При наличии хотя бы на одном входе сигнала логического 0 на выходе будет такой же сигнал. Таблица состояний и условное обозначение элемента И представлены на рис. 66.

Логический элемент ИЛИ — один из основных логических элементов, сигналу логической 1 на выходе которых соответствует сигнал логической 1 на любом входе (рис. 67). При использовании электромеханических реле элемент ИЛИ реализуется посредством двух включенных параллельно замыкающих контактов.

Логический элемент НЕ — один из основных логических элементов (отрицание), используемых в дискретных системах автоматики. При наличии на его входе сигнала логического 0 или 1 на выходе появляется сигнал соответственно логической 1 или 0 (рис. 68). Может быть реализован с помощью электромеханического реле с размыкаемыми контактами.

Логический элемент НЕ-И — один из основных логических элементов, предназначенных для использования в дискретных цифровых системах автоматики.

Сигнал логической 1 на выходе данного элемента появляется при наличии сигнала логического 0 на всех входах. Этот логический элемент может быть реализован на базе электромеханических и по-

лупроводниковых ключей. Таблица состояний и условное обозначение приведены на рис. 69.

Логический элемент НЕ-ИЛИ — один из основных логических элементов, сигналу логической 1 на любом из входов которых соответствует сигнал логического 0 на выходе (рис. 70). Он может быть реализован как на контактных, так и на бесконтактных реле.

x	y
0	1
1	0

$y = \overline{x}$

Рис. 68. Логический элемент НЕ

x_1	x_0	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$y = x_0 x_1$

Рис. 69. Логический элемент НЕ-И

x_1	x_0	y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

$y = \overline{x_1 \vee x_0}$

Рис. 70. Логический элемент НЕ-ИЛИ

М

Магнитная индукция — величина, равная отношению силы, действующей в магнитном поле на единицу длины проводника, перпендикулярного направлению поля, к силе тока в проводнике. Магнитная индукция характеризует степень ориентации элементарных магнитов (доменов) ферромагнитного вещества относительно силовых линий внешнего магнитного поля. Указанный эффект приводит к усилению внешнего магнитного поля в ферромагнитном веществе (рис. 71, *а*). Если ферромагнитное тело содержит полость (рис. 71, *б*), то количество силовых линий магнитного поля в ней уменьшается. Это свойство используется для защиты электроизмерительных приборов от влияния внешних магнитных полей [7].

Магнитная проводимость участка магнитной системы — величина, равная отношению магнитного потока, вызываемого в участке магнитодвижущей силой, к этой магнитодвижущей силе.

Условное обозначение — $g_м$, единица измерения — Вб/*А*:

$$g_м = 1/R_м,$$

где $R_м$ — магнитное сопротивление [7].

Магнитная проницаемость — величина, характеризующая магнитные свойства вещества.

Условное обозначение — μ. Она определяется из выражения

$$\mu = B/H,$$

где B — индукция; H — напряженность магнитного поля.

На практике наиболее часто используется величина, называемая *относительной магнитной проницаемостью* и равная отношению аб-

солютной магнитной проницаемости к магнитной постоянной. Магнитная постоянная μ_0 характеризует магнитные свойства вакуума и равна $1{,}256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м. Магнитная проницаемость определяется как произведение μ_0 на относительную магнитную проницаемость, т. е.

$$\mu = \mu_0 \mu_{отн}.$$

При этом $\mu_{отн}$ показывает, во сколько раз хуже или лучше магнитные свойства конкретного материала или вещества по сравнению с вакуумом. У диамагнетиков (Cu, Ag, Sb, Bi, Pb и т. д.) $\mu_{отн} < 1$, у парамагнетиков (Al, Si, Co, Pt, Pt, Mn и т. д.) $\mu_{отн} > 1$. В магнитном отношении указанные вещества близки к вакууму или к воздуху. В ферромагнетиках $\mu_{отн} \gg 1$ (несколько тысяч), благодаря чему они обладают способностью многократного усиления внешнего маг-

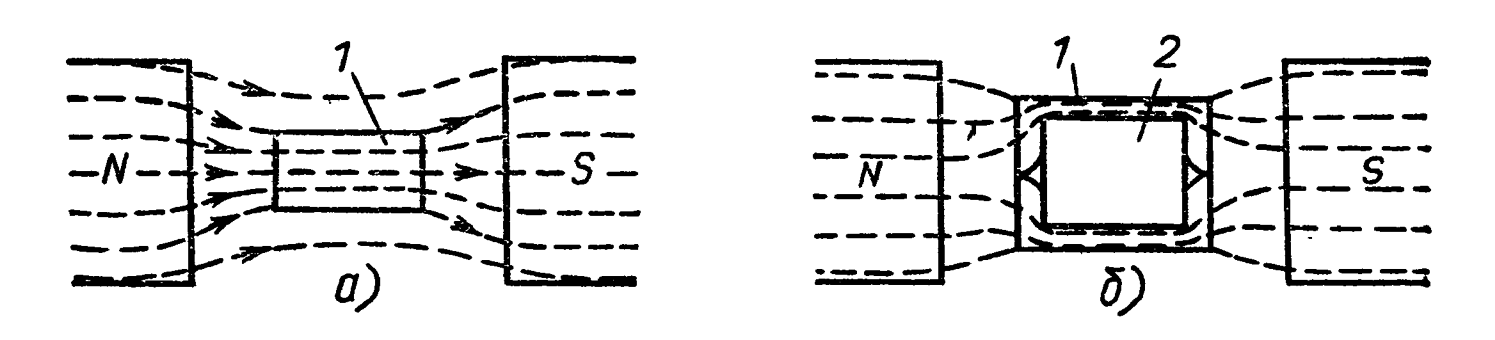


Рис. 71. Магнитная индукция:

1 — ферромагнитное вещество; 2 — область, не занятая магнитным полем

нитного поля. Ввиду того что в природе отсутствуют вещества, полностью препятствующие прохождению через них силовых линий магнитного поля, относительная магнитная проницаемость всегда больше нулевого значения.

Магнитная постоянная (**диэлектрическая постоянная**).

Магнитная связь. Две катушки имеют магнитную связь, если созданный протекающим через одну из них током магнитный поток Φ_1 пронизывает все или часть витков другой катушки. В этом случае магнитный поток Φ_1 будет равен сумме значений магнитного потока Φ_2, пронизывающего вторую катушку, и потока рассеяния Φ_s, не охватывающего витки второй катушки, т. е. $\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_s$. Тогда коэффициент магнитной связи $k_{мс}$ можно определить через отношение $k_{мс} = \Phi_1/\Phi_s$ и тем самым оценить значение потока рассеяния. Если катушки расположены на общем или разных сердечниках одной магнитной системы, то $k_{мс} \approx 1$, в остальных случаях $k_{мс} < 1$.

Магнитная система трансформатора — элемент конструкции трансформатора, предназначенный для создания магнитной связи между его обмотками.

Обычно магнитная система выполняется из тонких пластин электротехнической стали, которые стягиваются в плотный пакет. Части системы, на которых располагаются обмотки, называются *стержнями*, остальные части называются ярмами. Различают верхние и нижние ярма. Геометрия пластин системы определяется характером стыка стержня с ярмом.

Однофазные трансформаторы имеют двухстержневые (рис. 72, *а*) или броневые (рис. 72, *б*) магнитные системы, трехфазные транс-

форматоры — трехстержневые системы (рис. 72, *в*). В отдельных случаях используются пятистержневые системы. В маломощных трансформаторах используются ленточные и кольцевые магнитные системы [4].

Магнитное дутье — способ гашения электрической дуги в силовых выключателях.

Дугогасительная система выключателя содержит магнитопровод U-образной формы с обмоткой, включенной последовательно в коммутируемую электрическую цепь (рис. 73). При размыкании

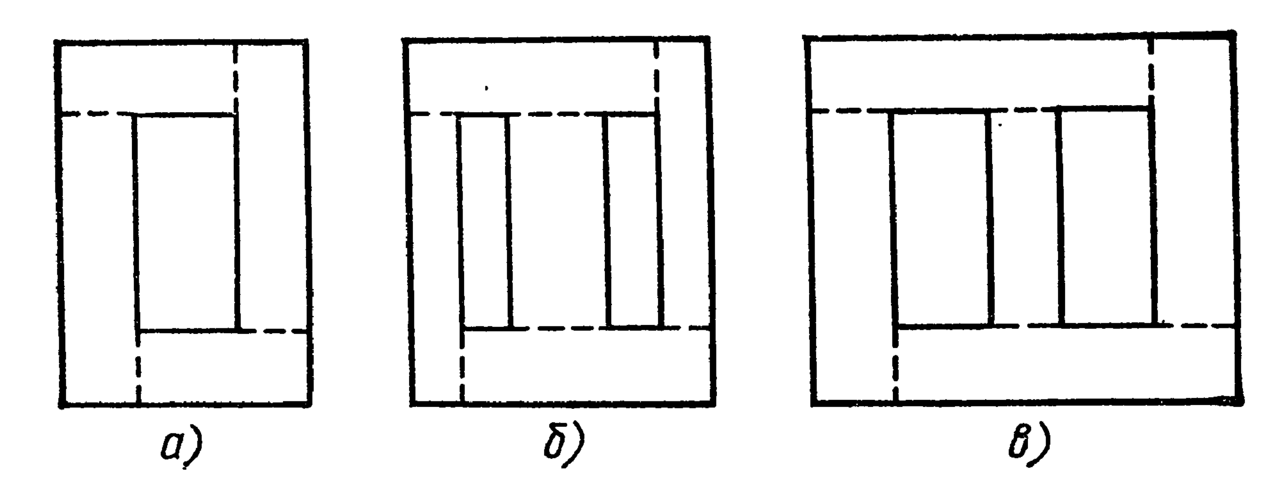


Рис. 72. Магнитная система трансформатора

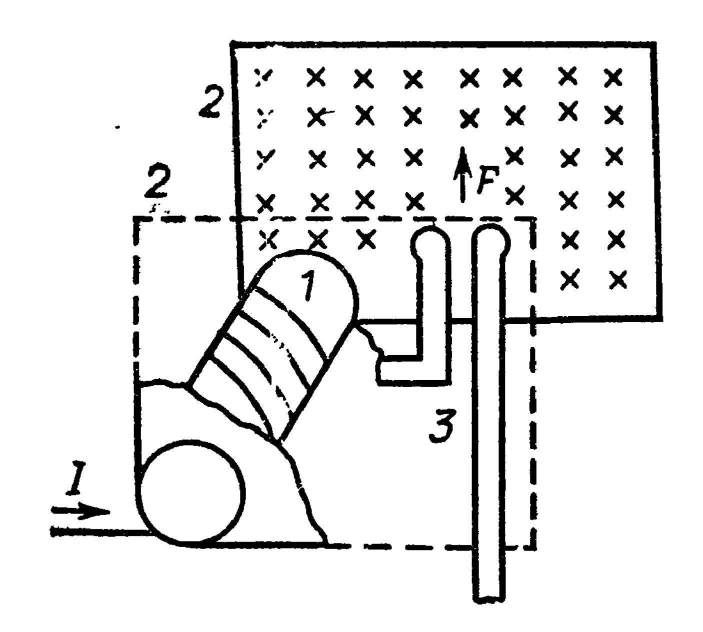


Рис. 73. Магнитное дутье:

1 — магнитопровод с обмоткой; *2* — пластина дугогасительной камеры; *3* — разомкнутые контакты; *I* — ток; *F* — сила, действующая на дугу

контактов возникает электрическая дуга, причем протекающий через плазменный шнур ток равен току в указанной обмотке. Контакты движутся между полюсами магнитопровода, создающего с помощью обмотки магнитное поле, деформирующее дугу. В результате удлинения дуги под действием электродинамических сил обеспечивается быстрое ее гашение. При этом усилие возрастает пропорционально увеличению тока в коммутируемой цепи. Для обеспечения работоспособности дугогасительной системы следует обращать внимание на полярность включения обмотки в коммутируемую цепь.

Магнитное поле — одна из двух сторон электромагнитного поля, характеризующихся воздействием на движущуюся электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду частицы и ее скорости.

Физически магнитное поле обусловлено движением электрических зарядов, например движением молекул в теле постоянного магнита, или протеканием электрического тока в проводнике (поле электромагнитное). Графически поле может быть представлено по-

средством силовых линий. В зависимости от характера распределения силовых линий различают:

однородное плоскопараллельное поле, силовые линии которого имеют одинаковую плотность и расположены параллельно друг другу (рис. 74, *а*);

однородное радиальное поле, силовые линии которого расположены между двумя полюсами (рис. 74, *б*);

неоднородное поле, расположение силовых линий которого не соответствует картине распределения силовых линий однородного магнитного поля (рис. 74, *а*) [1].

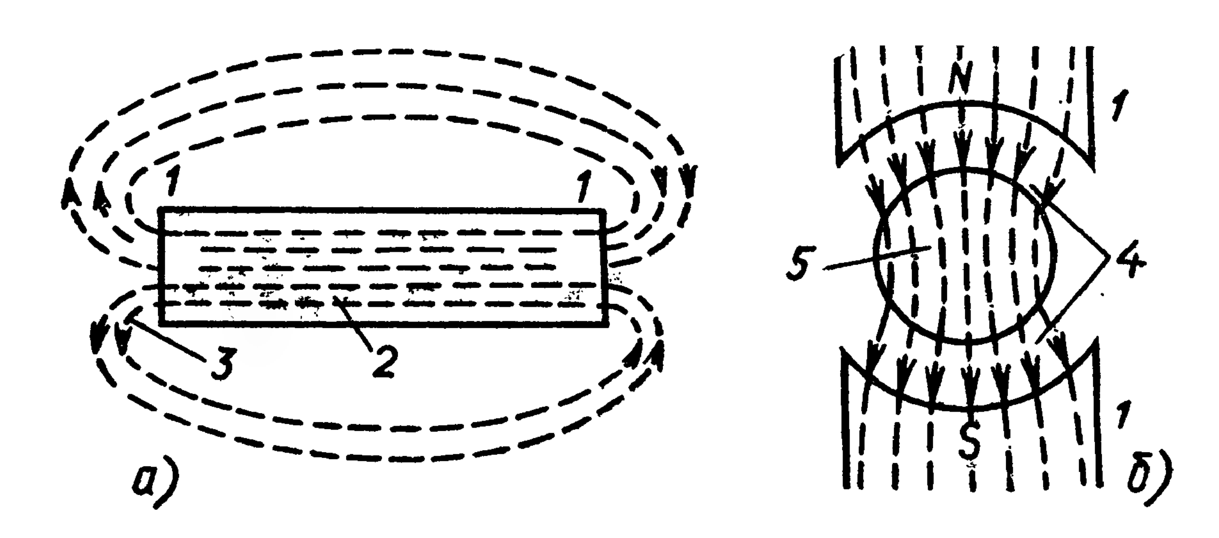


Рис. 74. Магнитное поле:

1 — магнитопровод; *2* — однородное плоскопараллельное поле; *3* — неоднородное поле; *4* — однородное радиальное поле; *5* — ферромагнитный материал

Магнитное поле рассеяния обмоток трансформатора — часть магнитного поля трансформатора, созданная той частью магнитодвижущих сил всех основных обмоток, геометрическая сумма векторов которых в каждой фазе обмоток равна нулю.

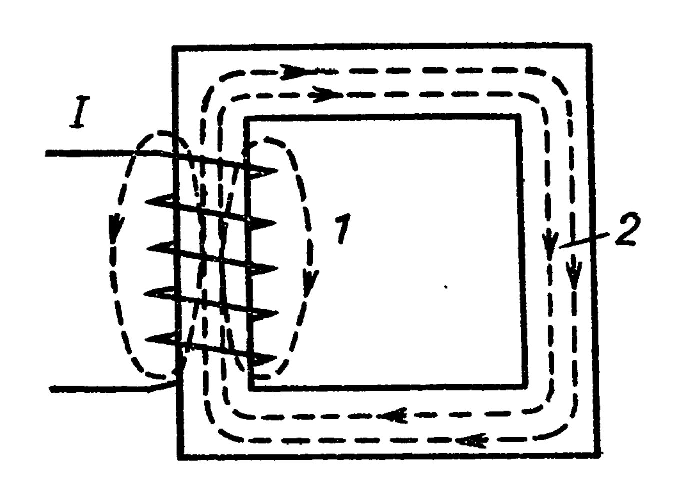


Рис. 75. Магнитное поле рассеяния трансформатора:

1 — магнитный поток рассеяния; *2* — основной (полезный) магнитный поток; *I* — ток в обмотке трансформатора

Причина возникновения потоков рассеяния заключается в том, что способностью проводить магнитное поле обладают практически все материалы и вещества, в том числе и воздух. Поэтому часть силовых линий магнитного поля, созданного обмоткой с током, замыкается через воздух, ярмо и стержень магнитной системы (рис. 75), т. е. полезный магнитный поток, проходящий через элементы магнитной системы, всегда меньше полного магнитного потока, созданного обмоткой с током. При увеличении магнитного сопротивления стали, например, в результате ее насыщения потоки рассеяния увеличиваются.

Магнитное сопротивление характеризует способность вещества препятствовать прохождению через него магнитного потока. Магнитное сопротивление используется для характеристики магнитных материалов и является эквивалентом электрического активного сопротивления при характеристике проводников электрического тока.

Условное обозначение R_μ; единица измерения — 1/Гн или Гн$^{-1}$:

$$R_\mu = \frac{l}{\mu s},$$

где l, s — соответственно средняя длина и площадь сечения участка магнитной цепи; μ — магнитная проницаемость материала [1].

Магнитное экранирование (магнитная индукция).

Магнитомягкий материал — ферромагнитное вещество, легко намагничивающееся под действием внешнего магнитного поля и утрачивающее это качество после снятия внешнего магнитного поля. Такие материалы имеют узкую петлю гистерезиса, т. е. обладают малыми значениями остаточного намагничивания и коэрцитивной силы. Они широко используются для изготовления магнитных систем трансформаторов и магнитопроводов статоров и роторов. В машинах переменного тока происходит периодическое перемагничивание магнитомягкого материала, что приводит к его нагреву вследствие выделяемого при этом тепла. Указанные потери носят название *потерь на гистерезис* (перемагничивание). Значение этих потерь возрастает с увеличением ширины петли гистерезиса.

Магнитотвердые материалы (постоянный магнит).

Магнитные силовые линии — линии, определяющие значение и направление силового воздействия на магнитные материалы и электрические заряды. Их плотность пропорциональна интенсивности магнитного поля. Вдоль них действуют силы растяжения, поперек — силы сжатия. В отличие от силовых электрических линий магнитные силовые линии всегда замкнуты на себя. Их направление определяется с учетом того, что они выходят из северного полюса и входят в южный полюс. Поэтому внутри постоянного магнита или катушки с током магнитные силовые линии направлены от южного полюса к северному.

Магнитный поток есть поток магнитной индукции через поверхность с некоторой площадью. Условное обозначение — Ф, единица измерения — вебер (Вб).

Магнитный усилитель (МУ) — усилитель переменного тока, выходное напряжение которого изменяется посредством регулирования значения постоянного тока в обмотке подмагничивания.

Обычно МУ состоит из магнитной системы, на которой расположены силовая обмотка (переменного тока) и обмотка управления или подмагничивания. Диапазон изменения тока подмагничивания в обмотке управления выбирается таким образом, что магнитное сопротивление магнитной системы изменяется от минимального значения до максимального. В последнем случае магнитная система насыщена, индуктивность силовой обмотки имеет минимальное значение, а коэффициент усиления МУ максимален. При уменьшении тока подмагничивания индуктивность обмотки переменного тока снижается. В результате происходит изменение тока в основной обмотке. Большим преимуществом МУ является его низкая чувствительность к броскам тока нагрузки.

Магнитодвижущая сила (МДС) — величина, характеризующая

намагничивающие действия электрического тока и равная циркуляции напряженности магнитного поля вдоль замкнутого контура.

Условное обозначение — F, единица измерения — ампер (А):

$$F = Iw,$$

где I — сила тока катушки; w — число витков катушки.

Таким образом, МДС катушки с током I и числом витков w равна произведению указанных величин [1].

Максимально допустимое напряжение — амплитудное значение напряжения при наличии в электрической цепи устройства защиты от перенапряжений.

Максимальное превышение температуры — разность между максимально допустимой температурой обмотки или других активных частей электрической машины и температурой охлаждающей среды.

Максимальнотоковый расцепитель — защитный элемент контактора и пускателя, обеспечивающий их мгновенное отключение при коротком замыкании в цепи нагрузки. Расцепитель максимального тока содержит магнитопровод с обмоткой и якорь, механически связанный с приводом контактной системы. При резком увеличении тока нагрузки якорь втягивается в магнитопровод и освобождает привод контактной системы, отключая коммутационный аппарат. В пускателях расцепитель максимального тока устанавливается в комбинации с тепловым расцепителем, обеспечивающим защиту электродвигателя от перегрева.

Маломощный трансформатор — трансформатор, мощность которого не превышает 6,3 кВ·А. Такие трансформаторы характеризуются большим конструктивным разнообразием и выполняются на напряжение до 500 В. Наиболее часто они используются для гальванической развязки электрических цепей низкого и высокого напряжений и в устройствах защиты.

Маркировка выводов — система цифровых и буквенных обозначений выводов электрических машин.

Масляный трансформатор — трансформатор большой мощности, для охлаждения которого используется масло.

Трансформаторное масло обладает более высокой теплоемкостью по сравнению с воздухом, являющимся теплоносителем в сухих трансформаторах, а также более высокой электрической прочностью, т. е. является прекрасным диэлектриком.

Маховая масса — величина, характеризующая способность маховика накапливать энергию. В электроприводах под маховой понимается масса всех движущихся частей, приведенная к валу электродвигателя.

Маховик — стальное или чугунное колесо большой массы, предназначенное для аккумулирования энергии при увеличении его частоты вращения. Маховик часто используется для снижения колебаний частоты вращения устройств механизмов прерывистого движения, например в двигателях внутреннего сгорания, а также в качестве аккумулятора энергии.

Машина вентильная — машина постоянного тока, в которой отсутствует коллектор, т. е. бесколлекторная машина постоянного тока (рис. 76).

В вентильной машине на роторе установлены постоянные магниты, создающие поток возбуждения. Обмотка якоря расположена в пазах статора. Коммутация секций обмотки якоря осуществляется

с помощью полупроводникового коммутатора, управляемого датчиком положения ротора, благодаря чему обеспечивается четкая фиксация положения ротора. В качестве ключевых элементов полупроводникового коммутатора наиболее часто используются транзисторы. Коммутатор выполняет функции коллектора обычной машины постоянного тока, т. е. обеспечивает соответствующее взаимное положение в пространстве магнитного потока возбуждения и секции обмотки якоря. Техническая реализация этого принципа управления производится с помощью следующих датчиков положения:

оптоэлектрических датчиков положения (источника света, дисков с отверстиями и фототранзисторов);

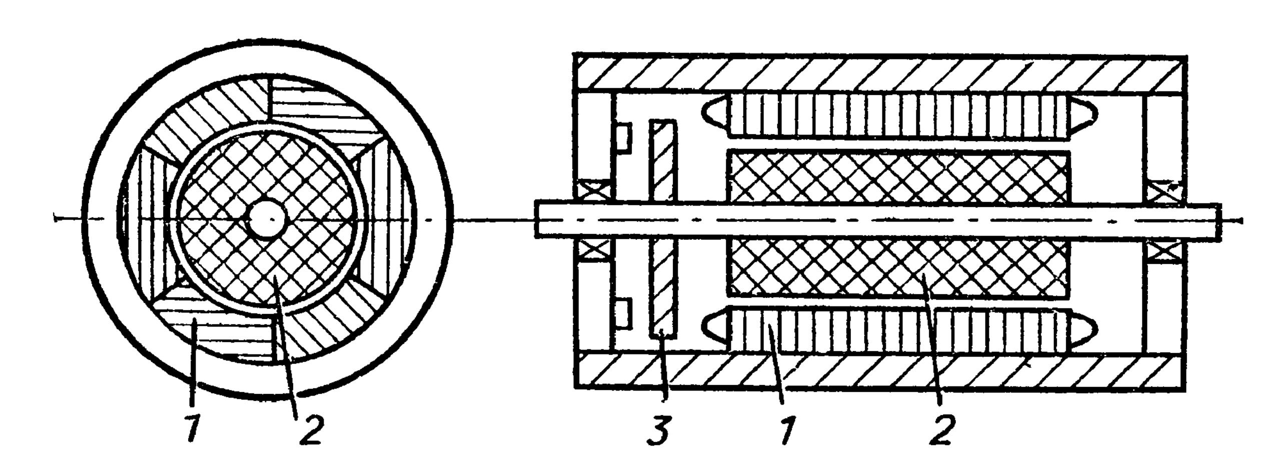


Рис. 76. Машина вентильная:

1 — статор с обмоткой; *2* — вращающийся постоянный магнит; *3* — датчики положения

датчиков Холла, фиксирующих максимум магнитного потока, создаваемого постоянными магнитами;

емкостных датчиков положения, выполненных в виде конденсатора, одна из пластин которого неподвижна, а другая вращается вместе с ротором;

индуктивных датчиков положения, состоящих либо из вращающегося дополнительного постоянного магнита и неподвижной измерительной обмотки, либо из магнитной системы с диском из магнитомягкого материала, при изменении углового положения которого изменяется магнитное состояние системы.

Основными преимуществами вентильной машины являются большой срок службы, возможность получения большой частоты вращения (до 100 тыс. об/мин) и отсутствие электромагнитных помех. К недостаткам, хотя и незначительным, относятся высокая стоимость и неустойчивая работа на низкой частоте вращения. Поэтому вентильные машины используются в электроприводах самолетов, космических летательных аппаратов и в высококачественной звуковоспроизводящей аппаратуре (магнитофонах, проигрывателях) [2].

Машина Кремера отличается от обычного генератора постоянного тока со смешанным возбуждением только тем, что на полюсах генератора кроме параллельной и последовательной обмоток возбуждения располагается еще и независимая обмотка возбуждения, причем последовательная обмотка возбуждения включена встречно по отношению к двум другим обмоткам возбуждения. Такая машина имеет падающую внешнюю характеристику и используется в основном в качестве сварочного генератора.

Машина постоянного тока (МПТ) — электрическая машина, предназначенная для преобразования механической энергии в элек-

трическую энергию постоянного тока или электрической энергии постоянного тока (в том числе пульсирующей) в механическую или электрическую энергию постоянного тока другого напряжения.

Характер преобразования энергии в МПТ определяется режимом работы двигателя или генератора. Корпус МПТ сваривается из листовой стали или отливается из чугуна и выполнен в виде полого цилиндра, внутри которого закреплены главные полюсы с обмоткой возбуждения (МПТ с внешними полюсами). Поток возбуждения может также создаваться постоянными магнитами. Магнитопровод якоря изготовляется из шихтованной электротехнической стали и закрепляется на валу ротора. В пазы якоря уложена об-

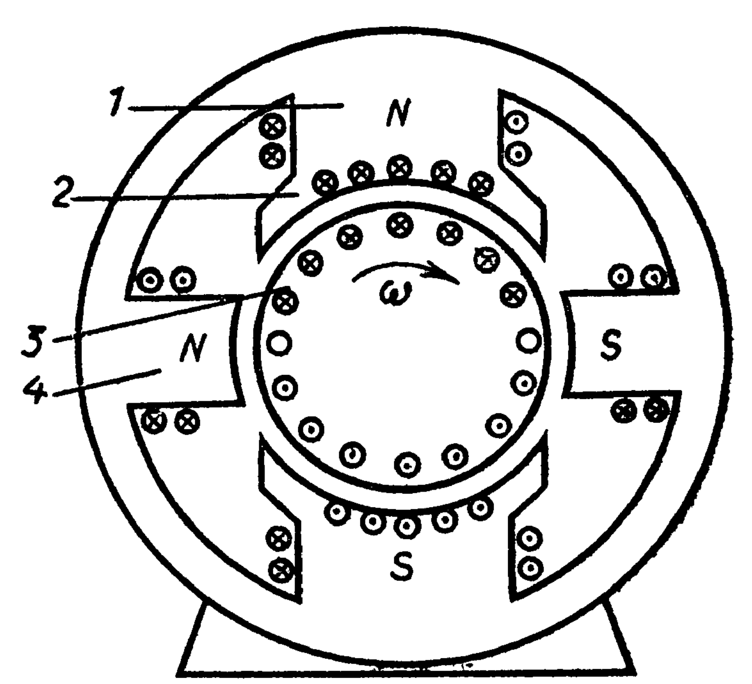


Рис. 77. Машина постоянного тока:

1 — главный полюс с обмоткой возбуждения; *2* — компенсационная обмотка; *3* — ротор с обмоткой якоря; *4* — дополнительный полюс с обмоткой

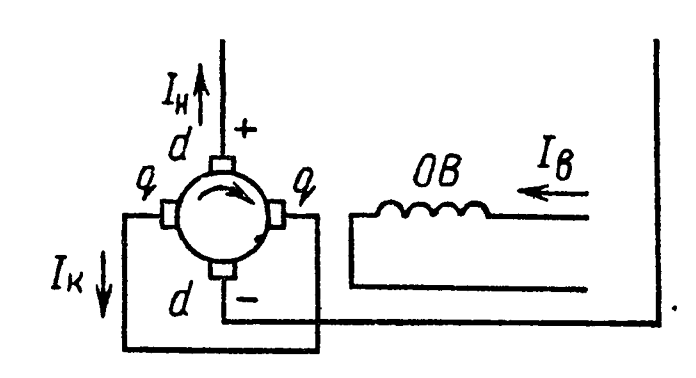


Рис. 78. Машина постоянного тока поперечного поля:

$I_н$ — ток нагрузки; $I_к$ — ток в короткозамкнутом контуре; $I_в$ — ток возбуждения

мотка якоря, выводы секции которой припаиваются к пластинам коллектора. Токосъем с коллектора производится при помощи щеток (рис. 77), через которые осуществляется гальваническая связь обмотки якоря с внешней электрической цепью. Для улучшения процесса коммутации в щеточно-коллекторном узле в мощных МПТ устанавливаются дополнительные полюсы, расположенные между главными полюсами на оси геометрической нейтрали. На дополнительных полюсах расположена компенсационная обмотка, включенная последовательно с обмоткой якоря. Обычно МПТ изготовляются на мощности от 0,2 Вт до 6,6 МВт.

Машина постоянного тока (МПТ) поперечного поля — двухступенчатая машина постоянного тока, используемая в качестве генератора или усилителя.

На рис. 78 представлена схема включения МПТ поперечного поля без дополнительных полюсов. Первая ступень образована обмоткой независимого возбуждения ОВ и частью обмотки якоря, за-

ключенной между щетками *qq*. При подключении обмотки возбуждения к источнику постоянного тока и вращении ротора от первичного двигателя в части обмотки якоря между щетками *qq* наводится ЭДС. При этом щетки *qq* замкнуты накоротко и через них протекает значительный ток, создающий мощное поперечное поле возбуждения. (В отличие от обычных машин постоянного тока в МПТ поперечного поля главные полюсы имеют большие размеры во избежание их насыщения магнитным потоком, создаваемым током возбуждения второй ступени). Этот ток создает вторичный поток возбуждения, вследствие чего в части обмотки якоря, расположенной между основными щетками *dd*, наводится ЭДС, прикладываемая к нагрузке. Таким образом, короткозамкнутая и вторая части обмотки якоря образуют вторую ступень.

При протекании тока нагрузки во второй ступени создается встречное магнитное поле (реакция якоря), ослабляющее поток возбуждения короткозамкнутой части обмотки якоря. В общем случае внешняя характеристика МПТ поперечного поля по своему виду близка к внешней характеристике генератора постоянного тока со смешанным возбуждением, т. е. она устойчиво работает на холостом ходу, а в режиме короткого замыкания ток во второй, выходной ступени ограничивается действием реакции якоря. Изменение конструкции и схемы включения обмоток МПТ поперечного поля позволяет получать специальные внешние характеристики, наиболее полно отвечающие характеру нагрузки [2].

Машина постоянного тока с поперечным возбуждением — машина постоянного тока специального исполнения, предназначенная для использования в качестве сварочного генератора (*машина Розенберга*).

В отличие от обычной машины постоянного тока машина Розенберга имеет два комплекта щеток, сдвинутых на $1/2$ полюсного деления. Продольные щетки присоединены к внешней электрической цепи, поперечные замкнуты накоротко. Обмотки возбуждения и дополнительных полюсов соединены последовательно с обмоткой якоря. При вращении ротора в его обмотке наводится незначительная ЭДС, обусловленная остаточным намагничиванием магнитопровода. Благодаря наличию короткозамкнутого контура указанная ЭДС вызывает в нем большой ток, который и создает основной поток возбуждения — так называемое *поперечное поле возбуждения.* При подключении такого генератора к нагрузке под действием тока обмотки якоря происходит, с одной стороны, увеличение остаточного намагничивания и, с другой стороны, ослабление потока возбуждения потоком якоря.

Машина с внешними полюсами — синхронная машина или машина постоянного тока, у которых обмотка возбуждения (постоянного тока) расположена на статоре, а обмотка якоря (переменного тока) — на роторе.

Статор машины с внешними полюсами имеет явнополюсное исполнение, на каждом из полюсов которого расположена сосредоточенная катушка обмотки возбуждения. При таком исполнении основная электрическая мощность поступает в обмотку ротора через контактные кольца (синхронная машина) или коллектор (машина постоянного тока) и щетки. По этой причине машины с внешними полюсами в отличие от машин с внутренними полюсами выполняются на сравнительно небольшую мощность [2].

Машина с пульсирующим магнитным потоком — вращающаяся

электрическая машина, в которой магнитный поток имеет пульсирующий характер.

Машинное изготовление обмотки — автоматический процесс намотки и укладки в пазы магнитной системы статора или ротора секций обмоток машин постоянного или переменного тока. Машинное изготовление обмотки наиболее эффективно при массовом производстве электрических машин и наиболее часто используется при изготовлении одно- и трехфазных машин переменного тока и коллекторных машин постоянного тока. Укладка секций в пазы производится с помощью приспособления с программным управлением, позволяющего укладывать обмотки с постоянным и переменным шагами. После укладки секций в пазы производятся формовка лобовых частей, включая бандажирование, а также пропитка электроизоляционным лаком и сушка. В коллеторной машине постоянного или переменного тока выводы секций автоматически припаиваются к пластинам коллектора, в бесколлекторных электрических машинах выводы обмотки присоединяются к зажимам клеммника. На автоматической линии производится также автоматический контроль качества изготовления обмотки.

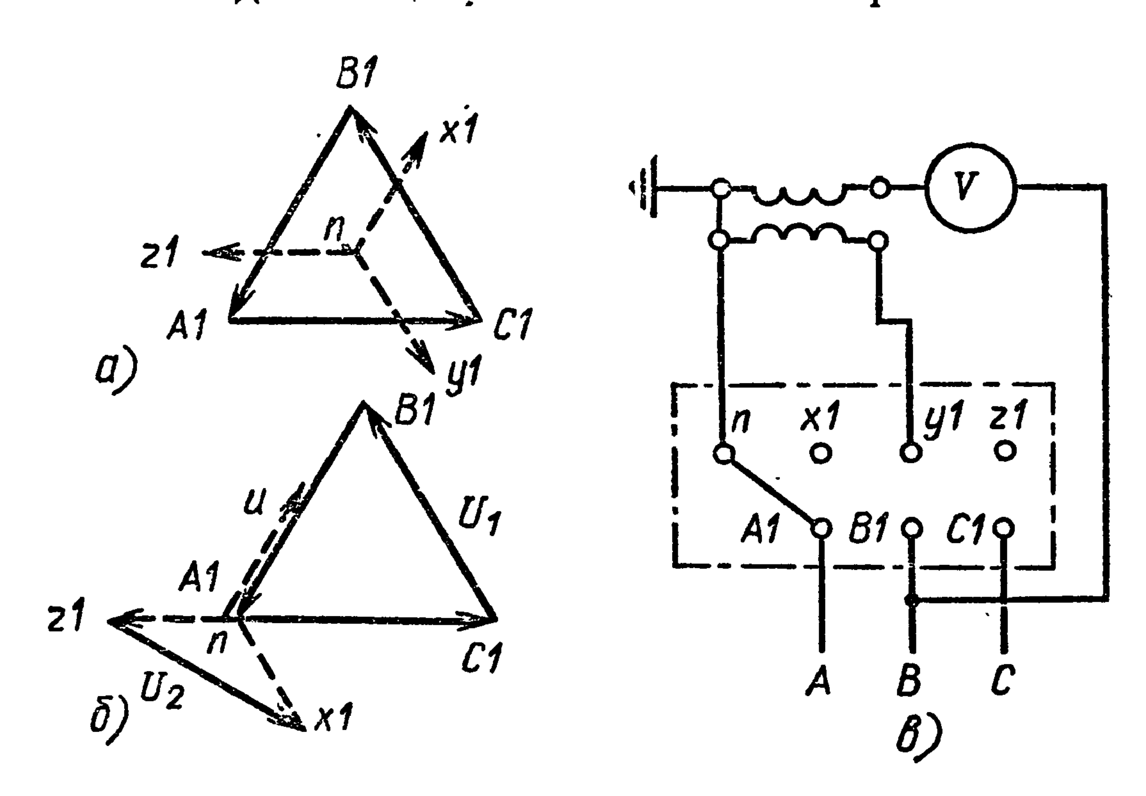


Рис. 79. Метод векторных диаграмм

Мгновенное значение — одно значение какой-либо изменяющейся в функции того или иного параметра величины, соответствующее одному конкретному значению этого параметра.

Для обозначения мгновенных значений тока и напряжения как функций времени используются буквы латинского алфавита: i — для тока; u — для напряжения [2].

Межслойная изоляция (изоляция трансформатора).

Метод векторных диаграмм — метод, используемый для определения группы соединения обмоток трехфазного трансформатора (рис. 79).

Для использования метода векторных диаграмм выводы обмотки высшего напряжения соединяют с выводами обмотки низшего напряжения, например вывод C с выводом c, или вывод N с c, или C с n. Обмотка высшего напряжения подключена к трехфазной сети переменного тока с напряжением U_1, значительно меньшим номи-

нального напряжения. Кроме напряжения U_2 на вторичной обмотке производится измерение напряжения на зажимах *A—a, B—b, A—b, B—a* и т. д. С помощью этих измерений может быть построена векторная диаграмма либо составлены уравнения для расчета напряжений на обмотках трансформатора.

Векторная диаграмма на рис. 79, *а* составлена для трансформатора с группой соединения обмоток ДУ=5. При соединении выводов *C* и *n* происходит параллельное смещение векторной диаграммы (рис. 79, *б*). Полученные при измерениях результаты позволяют построить векторную диаграмму, отображающую в масштабе напряжения на обмотках трансформатора и фазовый сдвиг между ними. Из векторной диаграммы могут быть получены следующие выражения:

напряжение между выводами *B* и *b*:

$$U_1 + \frac{U_2}{\sqrt{3}};$$

напряжение между выводами *A* и *a*:

$$U_1 - \frac{U_2}{\sqrt{3}}.$$

Знание уравнений, аналогичных вышеприведенным, позволяет построить векторную диаграмму для любой группы соединения обмоток трансформатора.

В трансформаторах с высоким значением коэффициента трансформации напряжение на обмотке высшего напряжения существенно превышает напряжение на обмотке низшего напряжения. По этой причине измеренное между выводами первичной и вторичной обмоток напряжение может отличаться от действительного значения. В этом случае для повышения точности измерений целесообразно использовать однофазный трансформатор напряжения (рис. 79, *в*).

Механическая характеристика — зависимость между вращающим моментом электродвигателя и его частотой вращения при неизменных напряжении, частоте тока питающей сети и внешних сопротивлениях в цепях обмоток двигателя.

Механическая характеристика асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (рис. 80, *а*). В начале пуска двигатель имеет сравнительно небольшой момент, который увеличивается по мере разгона и достигает максимального, критического значения. После этого при дальнейшем увеличении частоты вращения двигатель переходит в номинальный режим работы, в котором момент нагрузки уравновешивается моментом двигателя. При перегрузке двигателя его частота вращения уменьшается, и если момент нагрузки больше критического, то происходит опрокидывание двигателя, вследствие чего он останавливается. На вращающий момент двигателя существенное влияние оказывает омическое сопротивление цепи ротора (ротор с вытеснением тока; ротор с контактными кольцами). В диапазоне изменения момента нагрузки от нуля до номинального значения частота вращения двигателя меняется незначительно.

Механическая характеристика двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением (рис. 80, *б*). В момент пуска двигателя ток цепи якоря мак-

симален, поскольку отсутствует противо-ЭДС, уравновешивающая напряжение питания. Ввиду того что обмотка возбуждения включена последовательно с якорной, ток возбуждения также имеет большое значение, вследствие чего двигатель развивает большой пусковой момент, примерно в 4 раза превышающий номинальный. По мере увеличения частоты вращения двигателя происходит увеличение противо-ЭДС, следствием чего является снижение тока в обмотках якоря и возбуждения. Это в свою очередь приводит к уменьшению момента двигателя. При равенстве моментов двигателя и нагрузки двигатель переходит в установившийся режим работы с неизменной частотой вращения. При увеличении нагрузки происходит дальнейшее

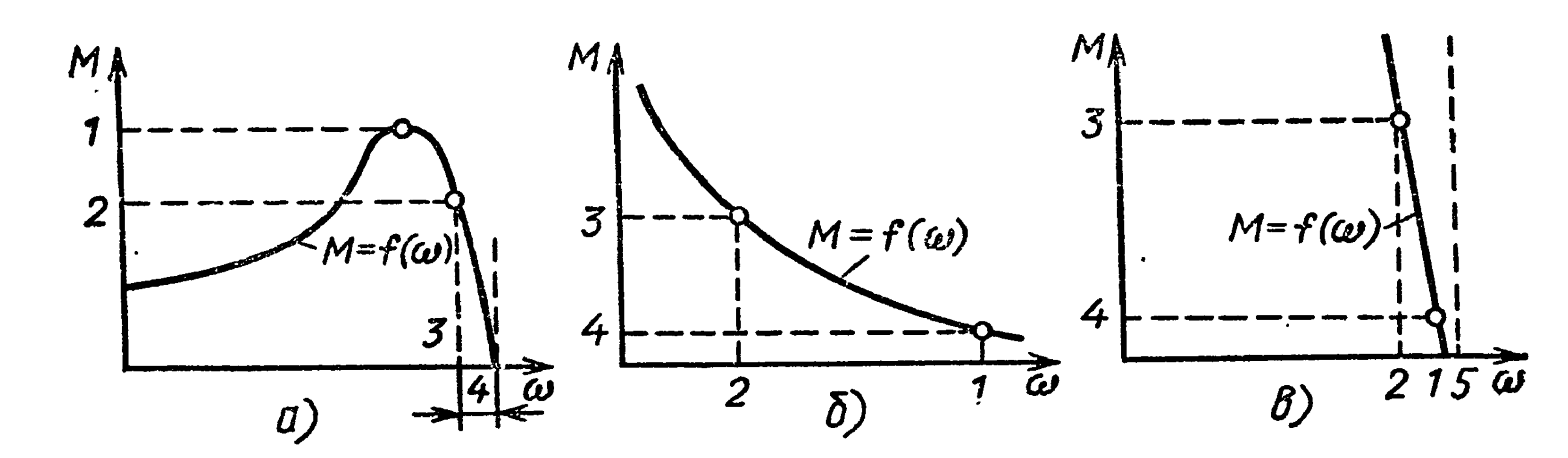


Рис. 80. Механическая характеристика:

а — асинхронного двигателя: *1* — опрокидывающий (критический) момент; *2* — номинальный момент; *3* — номинальная частота вращения; *4* — скольжение; *б* — двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением; *в* — двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением: *1* — частота вращения на холостом ходу; *2*, *3* — номинальные частота вращения и момент; *4* — момент на холостом ходу; *5* — частота вращения

снижение частоты вращения двигателя. В случае резкого сброса нагрузки происходит интенсивное увеличение частоты вращения и двигатель может пойти вразнос (превысить допустимую частоту вращения). Для маломощных двигателей такой режим работы менее опасен вследствие значительного момента сопротивления, обусловленного потерями в двигателе.

Механическая характеристика двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением (рис. 80, *в*). При пуске двигателя пусковой момент примерно в 2 раза превышает номинальный вследствие отсутствия противо-ЭДС и большого значения тока в якорной цепи. Под действием динамического момента двигатель разгоняется до номинальной частоты вращения, соответствующей равенству моментов нагрузки и двигателя. Резкое увеличение нагрузки приводит к незначительному снижению частоты вращения (около 5—8 %), т. е. незначительное снижение последней приводит к существенному увеличению момента, развиваемого двигателем [8].

Многодвигательный электропривод — электропривод, электродвигательное устройство которого содержит несколько электродвигателей.

Многодвигательные электроприводы широко используются для приводов конвейеров, транспортеров, прокатных станов и т. п. В указанных устройствах частота вращения всех электродвигателей, как правило, поддерживается одинаковой. Известны и такие элек-

троприводы, в которых заданное отношение частот вращения отдельных электродвигателей поддерживается постоянным. Большое распространение получили электроприводы, в которых электродвигатели работают на одну нагрузку. В этом случае момент, создаваемый отдельными электродвигателями, суммируется. Для изменения частоты вращения или торможения, например в двухдвигательном варианте, один из электродвигателей оставляют работать в том же режиме, а другой реверсируют, благодаря чему можно не только обеспечить снижение значения суммарного момента, но и изменить его знак.

Многорядный трубчатый бак трансформатора (бак трансформатора).

Многослойная обмотка (слой обмотки).

Многофазная система электрических цепей — совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые относительно друг друга по фазе и создаваемые общим источником энергии. Обычно многофазная система может быть создана на базе синхронного генератора с гальванически не связанными обмотками якоря. К наиболее распространенным многофазным системам относится трехфазная сеть переменного тока, которая находит применение при передаче и распределении электроэнергии. Однофазные сети переменного тока используются только при передаче незначительной мощности, а также в измерительных приборах и системах [1].

Многофазный коллекторный двигатель параллельного возбуждения с двойным комплектом щеток — многофазный коллекторный двигатель с двумя обмотками на роторе, одна из которых получает питание от источника тока через контактные кольца, а вторая — через коллектор с двумя комплектами щеток питает отдельные фазы обмотки статора добавочным напряжением, которое с целью регулирования частоты вращения и потребляемой от сети реактивной мощности может изменяться путем перемещения щеток.

Данный двигатель называют также *двигателем Шраге.* Обычно он имеет на статоре трехфазную обмотку переменного тока, являющуюся вторичной. На роторе расположены две обмотки (рис. 81), одна из которых подключена через щетки к трехфазной сети переменного тока (первичная обмотка). В тех же пазах ротора расположена дополнительная обмотка, которая через второй комплект щеток подключена к разомкнутой вторичной обмотке статора. Указанные комплекты щеток смещены относительно друг друга в аксиальном направлении и имеют возможность перемещаться по окружности ротора, что позволяет плавно изменять частоту вращения двигателя.

Взаимное смещение комплектов щеток во встречном направлении позволяет получить резкое изменение дополнительного напряжения, подаваемого в обмотку статора, и значительное изменение частоты вращения двигателя Шраге. Синхронное смещение указанных щеток в одном направлении приводит к изменению фазы дополнительного напряжения и к более плавному регулированию частоты вращения ротора. При диапазоне регулирования 1 : 4 двигатель позволяет также улучшить коэффициент мощности cos φ.

На практике двигатели Шраге выполняются мощностью от 2 до 150 кВт и находят применение в текстильной, химической и целлюлозной промышленности [2].

Момент сопротивления — создаваемый производственным меха-

низмом на валу электродвигателя момент, знак которого противоположен знаку электромагнитного момента, создаваемого двигателем. Производственный механизм действует на электродвигатель в качестве нагрузки.

В общем случае момент сопротивления может зависеть от частоты вращения, углового положения вала, пройденного пути и т. д. На рис. 82 представлены зависимости $M_н = f(\omega)$. Для графика *1* момент сопротивления не зависит от частоты вращения. Такая нагрузка характерна для электроприводов с возвратно-поступательным перемещением рабочего органа механизма, электроприводов подъема

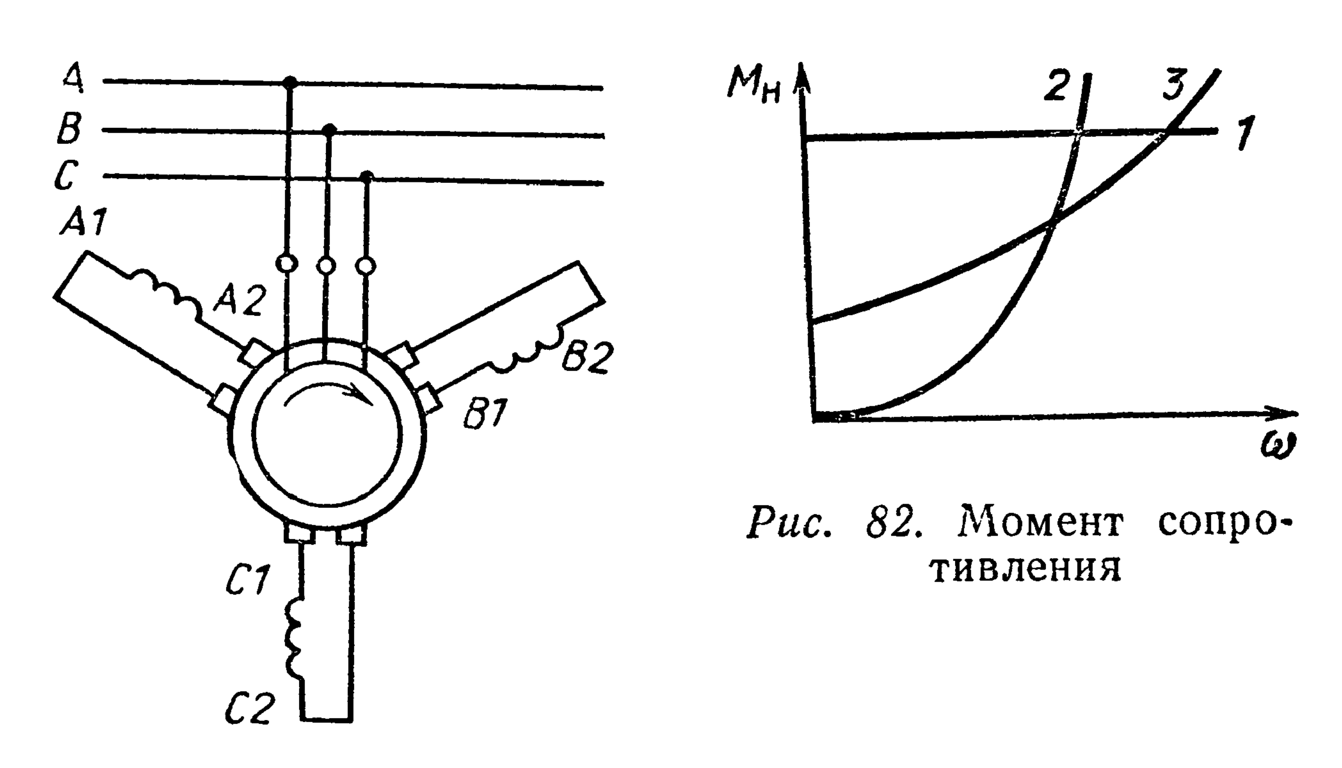


Рис. 82. Момент сопротивления

Рис. 81. Многофазный коллекторный двигатель параллельного возбуждения с двойным комплектом щеток

груза в электрических кранах. В насосах и вентиляторах имеет место сильная зависимость момента сопротивления от частоты вращения (кривая *2* на рис. 82), поскольку он пропорционален квадрату частоты вращения двигателя. Эта характеристика, называемая иногда *вентиляторной,* наиболее четко выражена в электроприводах гребных винтов судов, центробежных насосов и т. п. При наличии значительной силы трения (в тяговом электроприводе автомобилей, электропоездов) зависимость момента сопротивления от частоты вращения может быть представлена в виде кривой *3*.

Момент сопротивления, зависящий от времени, — момент сопротивления, значение которого изменяется с течением времени.

Данный характер изменения момента сопротивления присущ механизмам с циклической нагрузкой. При этом в паузе между нагрузкой двигатель работает на холостом ходу, благодаря чему происходит его интенсивное охлаждение. К такого рода электроприводам относятся электроприводы различных станков.

Момент сопротивления, зависящий от местоположения или пройденного пути, — момент сопротивления, создаваемый нагрузкой на валу электродвигателя, значение которого зависит от местоположения механизма или пройденного им пути.

Такая зависимость момента сопротивления характерна для тяговых электроприводов, момент сопротивления которых определяется уклоном и профилем полотна дороги (спуски, подъемы, крутые по-

вороты и т. п.). Поэтому выбор мощности тягового электродвигателя должен производиться с учетом профиля дороги.

Момент сопротивления, зависящий от угла поворота вала,— момент сопротивления, создаваемый нагрузкой на валу электродвигателя, значение которого зависит от углового положения вала двигателя или механизма.

К механизмам с таким изменением момента сопротивления относятся механизмы с периодически повторяющимся, циклическим режимом работы, например кузнечный пресс, фрезерный и строгальный металлорежущие станки и т. п. В указанных устройствах режим номинальной нагрузки чередуется с режимом холостого хода. Для снижения потребляемой мощности в данном электроприводе применяется маховик. В этом случае электродвигатель используется в основном для разгона маховика с производственным механизмом.

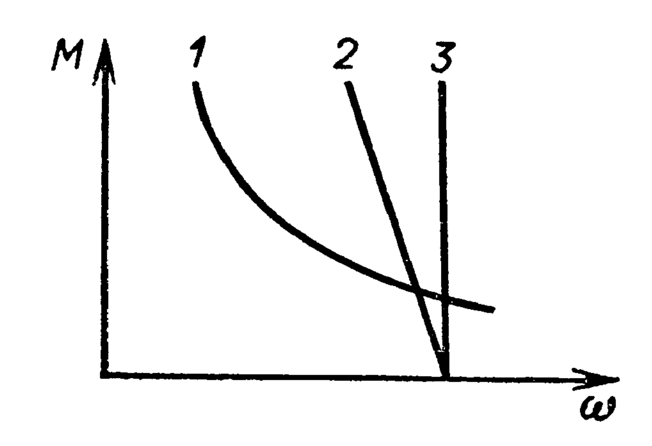


Рис. 83. Момент электродвигателя: механические характеристики двигателей постоянного тока с последовательным (*1*), параллельным (*2*) возбуждением и синхронного двигателя (*3*)

Момент сопротивления, зависящий от частоты вращения, — момент сопротивления, создаваемый нагрузкой на валу электродвигателя, значение которого изменяется с изменением частоты вращения.

В общем случае различают линейную и нелинейную зависимости момента сопротивления от частоты вращения. К нелинейной относятся квадратичный, гиперболический и другие типы зависимостей. При линейной зависимости момента сопротивления от частоты вращения увеличение последней приводит к квадратичному увеличению мощности, потребляемой электродвигателем. При квадратичной зависимости $M_н = f(\omega)$ мощность изменяется пропорционально кубу частоты вращения двигателя.

Момент трения нагрузки — постоянно действующий момент сопротивления на валу электропривода, возникающий в машинах и механизмах, действие которых основано на использовании сил трения, например в бумагоделательных машинах.

В более широком смысле под моментом трения понимают момент сопротивления электродвигателя, в том числе и на холостом ходу, обусловленный трением в подшипниках.

Момент электродвигателя — момент, развиваемый электродвигателем при номинальном напряжении, который в большинстве случаев зависит от частоты вращения, что отражается с помощью механических характеристик (рис. 83).

С точки зрения этой зависимости различают три типа механических характеристик. Двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением обладает мягкой характеристикой (кривая *1*) и имеет максимальный момент при низкой частоте вращения. Двигатель постоянного тока с параллельным и независимым возбужде-

нием также обладает падающей, хотя и в меньшей мере, механической характеристикой (кривая *2*). В синхронном двигателе изменение момента происходит при постоянной частоте вращения (характеристика *3*).

Мотор-генератор — электромашинный агрегат, содержащий не менее двух электрических вращающихся машин, соединенных механически и не имеющих гальванической связи.

Вследствие многократного преобразования энергии мотор-генератор имеет сравнительно низкое значение КПД, определяемое как произведение КПД отдельных машин. Мотор-генераторы изготовляются на базе различных электрических машин, сопрягающихся по электрическим и механическим параметрам.

Моторный привод — привод, предназначенный для включения и отключения мощных силовых выключателей с помощью электродвигателя.

Обычно привод содержит электродвигатель, вал которого через редуктор и эксцентричную шайбу связан с валом исполнительного механизма силового выключателя, приводящим в движение его контактную систему. Время срабатывания моторного привода существенно больше времени срабатывания других типов проводов, например электромагнитных. Для устранения этого недостатка кинематическая схема исполнительного механизма обеспечивает скачкообразное изменение положения подвижных контактов. В мощных выключателях моторный привод позволяет накапливать потенциальную энергию в возвратной пружине, которая используется затем для отключения выключателя.

Мощность трехфазного переменного тока — мощность трехфазной сети переменного тока, определяемая через действующие значения линейных или фазных токов и напряжений и коэффициенты связи между ними.

Мощность сети зависит от схемы соединения обмоток (звезда или треугольник) трехфазной машины переменного тока. При переключении нагрузки со схемы звезды на схему треугольника потребляемая нагрузкой мощность увеличивается в 3 раза.

По аналогии с однофазным в трехфазном переменном токе выделяют:

полную мощность $S=\sqrt{3}UI$, единица измерения — вольт-ампер (В·А);

активную мощность $P=\sqrt{3}UI\cos\varphi$, единица измерения — ватт (Вт);

реактивную мощность $Q=\sqrt{3}UI\sin\varphi$, единица измерения — вольт-ампер реактивный (вар),

где U, I — действующие значения линейных напряжения и тока [1].

Н

Навитая магнитная система — магнитная система трансформатора, в котором стержни и ярма образуются в виде цельной конструкции путем навивки из ленточной или рулонной электротехнической стали. Навитые системы используются в основном для изготовления маломощных трансформаторов. Отсутствие в них воздушного зазора позволяет снизить до минимума ток намагничивания.

При цилиндрической форме магнитных систем наиболее равномерное промагничивание обеспечивается при соотношении внутреннего и внешнего диаметров 1 : 2 [4].

Нагруженный трансформатор — режим работы трансформатора, при котором энергия вторичной обмотки отдается в нагрузку.

Сопротивление нагрузки однозначно определяет степень загрузки трансформатора, в том числе токи первичной и вторичной обмоток. Протекание токов сопровождается падением напряжения на сопротивлениях обмоток. При активном и индуктивном характере нагрузки напряжение на вторичной обмотке нагруженного трансформатора с увеличением тока снижается. При емкостном характере нагрузки увеличение тока приводит к увеличению напряжения вторичной обмотки.

Нагрузка (Н) — режим работы электрической машины, преобразующей электрическую или механическую энергию соответственно в механическую или электрическую энергию (рис. 84).

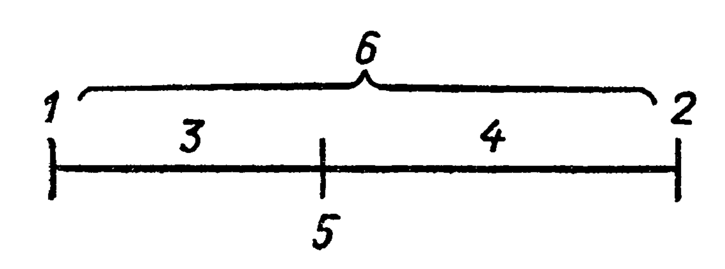


Рис. 84. Нагрузка:

1 — холостой ход; *2* — короткое замыкание; *3* — недогрузка; *4* — перегрузка; *5* — номинальная нагрузка; *6* — область нагрузки

Диапазон изменения Н машины ограничивается режимами холостого хода и короткого замыкания. Электрическая машина работает с номинальной Н в том случае, если напряжение на ее зажимах, температура, частота вращения соответствуют с некоторой точностью значениям указанных параметров, оговоренным соответствующими ГОСТ и ТУ. В диапазоне изменения Н от холостого хода до номинального значения машина может работать без ограничения времени, в режиме перегрузки — ограниченное время, причем в последнем случае с увеличением перегрузки снижается допустимое время работы, поскольку в машине возникают значительные термические и механические перенапряжения.

Понятие Н в одинаковой мере распространяется на трансформаторы, генераторы и двигатели [8].

Нагрузочная способность нейтрали — способность трехфазного распределительного трансформатора с нейтральным проводом в цепи нагрузки пропускать через себя токи однофазных потребителей.

При соединении вторичной обмотки распределительного трансформатора по схеме звезда или двойной зигзаг и подключении нейтральной точки обмотки к нулевому проводу становится возможным питание от трехфазного трансформатора однофазных потребителей переменного тока (рис. 85). В случае подключения однофазного потребителя к фазному и нейтральному проводам по последнему начинает протекать ток нагрузки, значение которого зависит от мощности и количества однофазных потребителей.

Для группы соединения обмоток трансформатора УУ-0 неравномерная загрузка отдельных фаз приводит к смещению нейтрали. Вследствие этого приходится снижать нагрузку на нейтральный провод, которая не должна превышать 10 % номинальной мощности трансформатора. Использование в распределительном трансформаторе третьей, дополнительной обмотки, соединенной по схеме треуголь-

ник, позволяет увеличить нагрузку на нейтральный провод, т. е. повысить нагрузочную способность. Наибольшей нагрузочной способностью нейтрали обладают трансформаторы с группами соединения обмоток ДУ-5 и Уz-5.

Нагрузочные свойства (механическая характеристика):

а) асинхронного двигателя. Для данного двигателя с увеличением нагрузки происходит уменьшение его частоты вращения. Следствием этого является увеличение скольжения, ЭДС и тока обмотки ротора и момента, развиваемого двигателем. Для асинхронных двигателей допускается кратковременная перегрузка, составляющая 60 % номинальной. Для двигателей обычного исполнения частота вращения ротора при номинальной нагрузке меньше частоты вращения электромагнитного поля примерно на 8 %. При перегрузке двигателя снижается его коэффициент мощности cos φ, вследствие чего питающая сеть нагружается реактивным током;

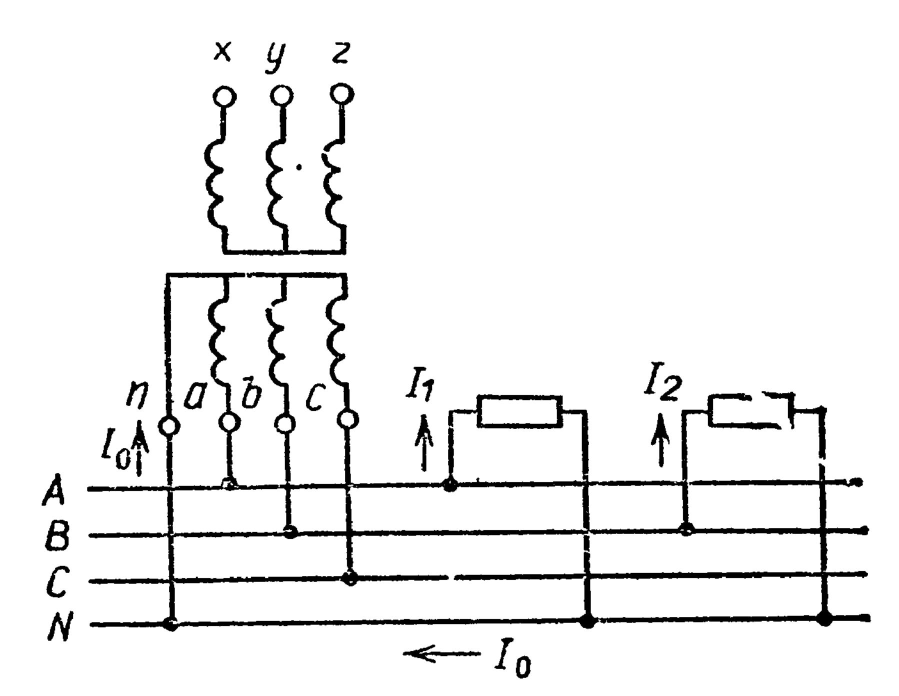


Рис. 85. Нагрузочная способность нейтрали

б) двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением. Для данного двигателя при увеличении нагрузки происходит снижение его частоты вращения, а по мере снижения нагрузки частота вращения увеличивается без ограничения и двигатель идет вразнос. При изменении нагрузки с одного значения на другое происходит изменение частоты вращения двигателя до тех пор, пока момент, развиваемый двигателем, уравновесится моментом нагрузки. После этого двигатель работает с постоянной частотой вращения. По мере увеличения момента нагрузки происходит увеличение тока возбуждения, ЭДС и тока якоря, благодаря чему момент, развиваемый двигателем, увеличивается до соответствующего значения;

в) двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением. В этом двигателе ток возбуждения не зависит от тока нагрузки, благодаря чему изменение момента нагрузки сопровождается незначительным снижением частоты вращения ротора. Снижение частоты вращения приводит к уменьшению противо-ЭДС, вследствие чего увеличивается ток в обмотке якоря, а следовательно, и момент двигателя. Частоты вращения при холостом ходе и номинальной нагрузке различаются незначительно [8].

Нагрузочный треугольник — часть векторной диаграммы трансформатора, характеризующая процесс преобразования энергии в нем. Нагрузочный треугольник представляет собой прямоугольный треугольник, размеры катетов которого пропорциональны падению напряжения на активном U_R и индуктивном U_S сопротивлениях первичной обмотки трансформатора от тока I_1 в ней, а размер гипотенузы пропорционален значению напряжения $U_к$ короткого замыкания (рис. 86). Нагрузочный треугольник раскрывает зависимость

напряжения U_2 вторичной обмотки от значения и характера нагрузки при неизменном напряжении U_1 первичной обмотки.

Надежность изоляции — вероятность сохранения электрической прочности изоляционного материала во всем диапазоне изменения температуры и влажности окружающей среды и значений напряжений в нормальных и аварийных режимах работы.

Направление вращения (НВ) определяется со стороны конца вала электрической машины, соединенного с рабочей машиной. При этом считают, что двигатель имеет прямое НВ, если его ротор вращается по часовой стрелке, и обратное НВ, если ротор вращается против часовой стрелки. В трехфазных двигателях переменного тока изменение НВ (реверс НВ) производится путем переключения двух фаз обмотки статора, в двигателях постоянного тока и в однофазных коллекторных двигателях — изменением полярности напряжения, приложенного к якорной обмотке или к обмотке возбуждения. В случае реверса двигателей при помощи разъемного контактного соединения на нем стрелкой должно быть указано НВ для каждого положения разъемного контактного соединения. Правильность подключения двигателя трехфазного переменного тока может быть оценена с помощью указателя чередования фаз.

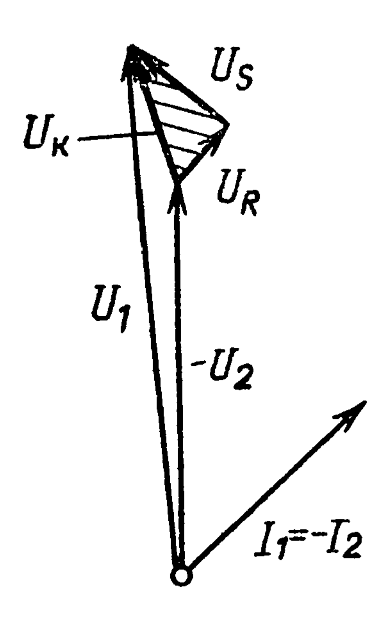


Рис. 86. Нагрузочный треугольник

Направление тока — направление, в котором протекает электрический ток. За положительное направление тока принято движение носителей электрических зарядов от положительного полюса источника тока к отрицательному.

Напряжение — скалярная величина, равная линейному интегралу напряженности электрического поля. Условное обозначение — U, единица измерения — вольт (В):

$$U = \frac{\Delta W}{Q},$$

где W — энергия; Q — заряд.

Напряжение характеризует затраты энергии, необходимые для перенесения электрического заряда из одной точки электрического поля в другую [1].

Напряжение короткого замыкания — падение напряжения на активном сопротивлении обмоток трансформатора:

$$u_{к} = (U_{пн}/U_{ном})\cdot 100\ \%,$$

где $U_{пн}$ — падение напряжения; $U_{ном}$ — номинальное напряжение первичной обмотки.

Полное падение напряжения на активном сопротивлении трансформатора складывается из падения напряжения на сопротивлении R_1 первичной обмотки и приведенного падения напряжения на сопротивлении R_2 вторичной обмотки

$$U_{пн} = U_{R1} + k_{тр} U_{R2}.$$

Напряжение КЗ определяется длиной, сечением и удельным сопротивлением провода обмоток. Ввиду того что омическое сопротивление обмоток трансформатора определяет значение потерь КЗ, напряжение КЗ можно определить также из выражения [4]

$$u_к = (P_к / S_{ном}) \cdot 100\%,$$

где $P_к$ — мощность потерь КЗ; $S_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора.

Напряжение короткого замыкания трансформатора — геометрическая сумма падений напряжений на активном и индуктивном сопротивлениях обмотки трансформатора при номинальном значении тока во вторичной обмотке.

При протекании через обмотки трансформатора тока нагрузки возникает падение напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях обмоток. На практике напряжение определяется в опыте КЗ, при котором вторичная обмотка закорачивается, а на первичную обмотку подается напряжение, при котором во вторичной об-

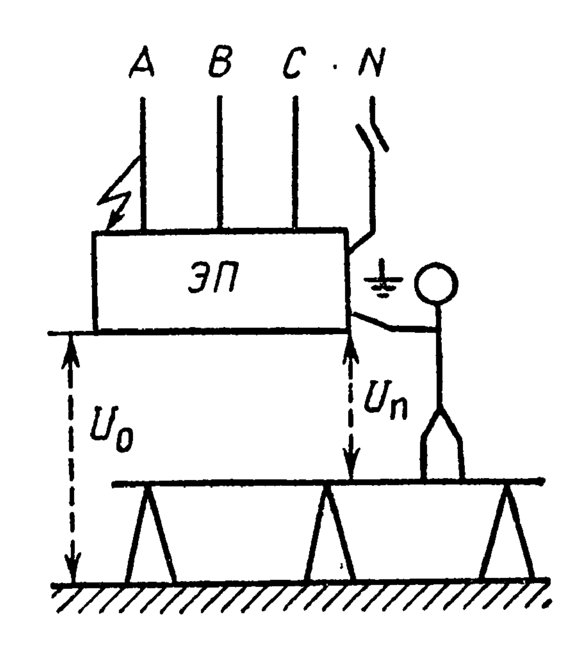


Рис. 87. Напряжение прикосновения:

ЭП — электрический прибор; U_0 — напряжение корпуса *ЭП* относительно земли; $U_п$ — напряжение прикосновения

мотке протекает номинальный ток. Часто напряжение КЗ выражают в относительных единицах, принимая в качестве базового значения номинальное напряжение первичной обмотки. Тогда величину $\overset{*}{U}_к = (U_к / U_1) \cdot 100\ \%$ называют *отношением короткого замыкания* (ОКЗ). Для трансформаторов малой и средней мощности ОКЗ составляет 5—8 %, для мощных трансформаторов 8—16 %. Значение ОКЗ следует учитывать при включении трансформаторов на параллельную работу.

Напряжение коммутации — напряжение, возникающее в секциях обмотки якоря машины постоянного тока. Напряжение коммутации возникает под действием магнитного поля обмотки добавочных полюсов. Оно действует встречно с ЭДС самоиндукции, наведенной в секциях обмотки якоря и закорачиваемой посредством щеток, и позволяет снизить вероятность возникновения кругового огня на коллекторе.

Напряжение между пластинами коллектора — напряжение, определяемое между соседними пластинами коллектора машины постоянного тока. Оно не должно превышать 15—25 В, поскольку при более высоком напряжении резко повышается вероятность возникновения кругового огня на коллекторе. При наличии в машине компенсационной обмотки напряжение между пластинами коллектора может быть увеличено.

Напряжение прикосновения — напряжение, приложенное к телу животного или человека при их соприкосновении с токоведущими частями электрооборудования (рис. 87). Оно имеет место и в слу-

чае прикосновения к токоведущим частям электрооборудования, оказывающимся под напряжением в результате повреждения электрической изоляции. Ток через тело прямо пропорционален напряжению прикосновения и обратно пропорционален электрическому сопротивлению его тела.

Напряжение пробоя изоляции характеризует максимально возможное напряжение, выдерживаемое электроизоляционным материалом без потери им электрической прочности.

Напряжение цепи управления — напряжение, предназначенное для управления различной коммутационной аппаратурой.

В зависимости от типа и назначения электрического аппарата в цепях управления используется постоянный и переменный ток с номинальным напряжением 24 и 48 В, а также 110 и 220 Н. В аппаратах защиты для питания цепей управления используется питающая сеть. Использование отдельного источника для питания цепей управления характерно для устройств, к которым предъявляются повышенные требования к надежности работы. В качестве напряжения цепи управления используются аккумуляторные батареи, дизель-электрические агрегаты и т. п. Указанные источники используются также для питания цепей контроля и сигнализации.

Напряжение холостого хода — напряжение на зажимах разомкнутой обмотки электрической машины.

Напряженность магнитного поля — векторная величина, характеризующая магнитное поле токов и не зависящая от свойств среды. Условное обозначение — H, единица измерения — А/м:

$$H = \frac{Iw}{l},$$

где I — ток; w — число витков катушки с током; l — длина силовой линии.

Напряженность магнитного поля показывает, какая намагничивающая сила участвует в создании магнитного поля [1].

Напряженность электрического поля — векторная величина, характеризующая электрическое поле и определяющая силу, действующую на заряженную частицу со стороны электрического поля. Численно она равна отношению силы, действующей на заряженную частицу, к ее заряду и имеет направление силы, действующей на частицу с положительным зарядом.

Условное обозначение — E, единица измерения — В/м:

$$E = U/d, \text{ или } E = F/Q,$$

где U — падение напряжения; d — расстояние между двумя точками поля; F — сила; Q — заряд [1].

Насыщение (ферромагнитное вещество).

Начальный пусковой момент — вращающий момент электродвигателя, развиваемый при неподвижном роторе и начальном пусковом токе. Начальный пусковой момент асинхронного двигателя и двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением обычно в 1,5—2 раза превышает номинальный момент, а в двигателях постоянного тока с последовательным возбуждением в 2—4 раза больше номинального момента (механическая характеристика) [8].

Недогрузка (нагрузка).

Независимое возбуждение — один из способов электромагнитно-

го возбуждения электрических машин, согласно которому энергия в обмотку возбуждения подается от постороннего источника постоянного тока, не имеющего гальванической связи с главной цепью возбуждаемой электрической машины [8].

Нелинейное сопротивление — активное сопротивление, напряжение на зажимах которого нелинейно зависит от значения протекающего через него тока (рис. 88).

У нелинейного сопротивления изменение напряжения не прямо пропорционально изменению тока, поскольку значение активного сопротивления элемента электрической цепи с нелинейным сопротивлением зависит от значения приложенного к нему напряжения, например у диода. Во многих случаях нелинейность сопротивления обусловлена зависимостью активного сопротивления элемента электрической цепи от температуры [1].

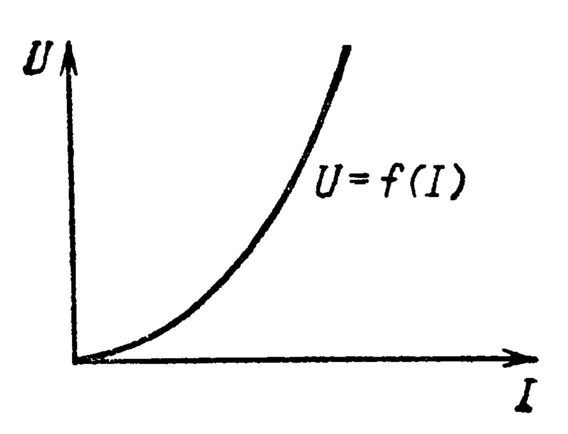


Рис. 88. Нелинейное сопротивление:

I, *U* — ток и напряжение

Немагнитная прокладка — прокладка из немагнитного материала, выполненная в виде металлической пластины, закрепляемой на торце ярма магнитопровода электромеханических контакторов и реле постоянного тока. Немагнитная прокладка создает дополнительный немагнитный зазор между якорем и ярмом, что препятствует залипанию якоря после отключения контактора или реле под действием остаточного намагничивания.

Несимметричная нагрузка (НН) — неравномерное распределение нагрузки по фазам в трехфазных трансформаторах и питающих сетях переменного тока.

При НН токи в отдельных фазах могут отличаться как по значению $I_A \neq I_B \neq I_C$, так и по фазовому сдвигу между ними $\varphi_A \neq \neq \varphi_B \neq \varphi_C$. При гальваническом соединении концов фазных обмоток электрических машин в этом случае возникает напряжение между точкой соединения концов обмоток и нулевым проводом или землей. Возникающий в нулевом проводе ток равен по значению геометрической (векторной) сумме фазных токов: $\mathbf{I}_N = \mathbf{I}_A + \mathbf{I}_B + \mathbf{I}_C$. Обычно НН, подключенная ко вторичной обмотке силового распределительного трансформатора с группой соединения обмоток УУ-0, приводит к подмагничиванию его магнитопровода и к увеличению потоков рассеяния. Указанные потоки наводят дополнительные ЭДС, приводящие к еще большему увеличению напряжения смещения, образующегося между точкой соединения концов фазных обмоток и нулевым проводом. По этой причине для силовых трансформаторов с указанной группой соединения обмоток несимметрия нагрузки не должна превышать 10 %. Для снижения влияния НН на работу трансформатора используются другие, специальные группы соединения обмоток, а также дополнительные, размагничивающие обмотки.

Несимметричная обмотка — обмотка якоря машины постоянно-

го тока с несимметричным расположением секций в пределах одного или двух полюсных делений.

На практике для изменения некоторых параметров машины при неизменной конструкции магнитопровода якоря используются несимметричные обмотки. В этом случае соседние секции обмотки якоря имеют различный шаг. Асимметрия может быть также получена неполным подключением выводов секции обмотки якоря к пластинам коллектора или посредством закорачивания нескольких пластин коллектора. В последнем случае закорачивание может производиться равномерно по окружности коллектора с некоторым шагом. При использовании волновой обмотки также используются «холостые» секции. Такая обмотка ничем не отличается от обычной, кроме того, что часть выводов не подключается к пластинам коллектора. Присутствие неиспользуемых секций обмотки позволяет облегчить балансировку ротора машины. При наличии перемычек между отдельными пластинами коллектора часть витков обмотки якоря оказывается закороченной, благодаря чему и создается необходимая асимметрия. Наиболее часто это делается тогда, когда количество выводов секций обмотки якоря не соответствует количеству пластин коллектора.

Нестационарный режим работы (стационарный режим работы).

Неустановившийся режим работы — режим работы, характеризующийся переходом машины из одного устойчивого состояния в другое, также устойчивое состояние.

В процессе работы электропривода на тот или иной производственный механизм происходит колебание момента нагрузки электродвигателя, обусловленное изменением режима работы механизма. При случайном увеличении момента нагрузки возникает тормозной момент, при снижении — двигательный момент. Каждое изменение частоты вращения привода приводит к тому, что момент двигателя $M_{дв}$ уравновешивается суммой момента нагрузки $M_н$ и динамического момента $M_{дин}$, т. е. $M_{дв}=M_н \pm M_{дин}$ [8].

Неявнополюсный ротор — ротор трехфазного синхронного генератора, на поверхности которого расположена распределенная обмотка возбуждения.

Генератор с неявнополюсным ротором приводится во вращение от турбины с высокой частотой вращения. На валу генератора установлен массивный ротор из магнитномягкой стали, на поверхности которого расположены аксиальные пазы. В эти пазы укладывается обмотка возбуждения, выводы которой присоединены к контактным кольцам. При укладке обмотки в пазы особое внимание следует уделять ее механической прочности, поскольку при вращении ротора на нее действует центробежная сила.

Нижний слой обмотки (двухслойная обмотка).

Номинальная мощность измерительных трансформаторов.

Номинальная мощность трансформатора напряжения равна произведению квадрата номинального напряжения вторичной обмотки на номинальное значение проводимости этой обмотки:

$$S_{ном} = U^2_{2ном} g_{2ном} .$$

Ряд мощностей трансформаторов напряжения: 10, 25, 50, 100, 200 и 300 В·А.

Номинальная мощность трансформатора тока равна произведению квадрата номинального тока вторичной обмотки на номинальное сопротивление:

$$S_{ном} = I^2_{2ном}\, z_{2ном}$$

Ряд мощностей трансформаторов тока: 2,5; 5; 10; 15; 30 и 60 В·А [6].

Номинальная нагрузка измерительного трансформатора. Для трансформатора напряжения нагрузка определяется через комплексную (полную) проводимость соединительных проводов и приборов, подключенных ко вторичной обмотке. Для трансформатора тока нагрузка определяется через комплексное (полное) сопротивление вторичной цепи.

Номинальная частота вращения двигателя постоянного тока определяется значениями напряжения питания и потока возбуждения. Противо-ЭДС в обмотке якоря E пропорциональна конструктивной постоянной c_1, потоку возбуждения Ф и частоте вращения $n (E = c_1 Фn)$. С другой стороны, $E = U - IR$, где U — приложенное к обмотке якоря напряжение; I — ток в обмотке якоря; R — сопротивление обмотки якоря. После несложного преобразования двух указанных уравнений получаем следующее выражение для определения частоты вращения двигателя постоянного тока:

$$n = \frac{U}{c_1 Ф} - \frac{IR}{c_1 Ф}.$$

Учитывая, что ток I прямо пропорционален развиваемому моменту M и обратно пропорционален потоку возбуждения $Ф \left(I = \frac{M}{c_2 Ф}\right)$, можно получить следующее уравнение механической характеристики:

$$n = \frac{U}{c_1 Ф} - \frac{R}{c_1 c_2 Ф}.$$

Таким образом, текущее значение частоты вращения определяется разностью между номинальной частотой вращения, пропорциональной $U/(c_1 Ф)$, и ее изменяемой частью, пропорциональной развиваемому двигателем моменту. Значение номинальной частоты вращения не зависит от значения момента нагрузки и может изменяться путем увеличения напряжения питания или уменьшения потока возбуждения. В первом случае наиболее часто используются тиристорные регуляторы напряжения, во втором — различные электронные регуляторы тока возбуждения. При использовании добавочных резисторов изменяется жесткость механической характеристики, но они в этом случае могут выполнять функцию ограничения пускового тока.

Номинальный момент электродвигателя — вращающий момент, создаваемый электродвигателем при номинальном значении нагрузки на валу.

Нулевой потенциал (потенциал).

О

Обмотка — алюминиевые или медные проводники, расположенные на полюсах или в пазах статора и ротора электрической машины.

В электрических машинах обмотки предназначены для создания магнитного потока. При этом в случае работы машины в режиме генератора в обмотке наводится напряжение, а в случае работы в режиме двигателя посредством обмотки создается вращающий момент.

Обмотка высокого напряжения — обмотка трансформатора с максимальным значением напряжения. Такая обмотка может быть первичной и вторичной и обозначается прописными буквами алфавита, например *A*, *B*, *C* — начало, *X*, *Y*, *Z* — конец обмотки.

Обмотка главных полюсов (полюсные обмотки).

Обмотка из шаблонных катушек — обмотка переменного тока или обмотка якоря машины постоянного тока, катушки которых изготовляются на специальном оборудовании из провода большого сечения и укладываются в полуоткрытые пазы пакета статора или пакета ротора. Обычно обмотки изготовляются одно- и двухслойными с открытой (рис. 89, *а*) или закрытой (рис. 89, *б*) секцией. Наиболее часто обмотки с открытыми секциями применяются при изготовлении обмоток якоря машин постоянного тока — волновых и петлевых, а обмотки с закрытыми секциями используются при изготовлении трехфазных обмоток переменного тока на статоре и на роторе. На практике обмотки из шаблонных катушек применяются в электрических машинах как низкого, так и высокого напряжения.

Обмотка переменного тока — одно-, двух- или трехфазная распределенная обмотка, расположенная на статоре или роторе машины переменного тока.

В зависимости от числа фаз обмотки в рабочем зазоре машины переменного тока создается пульсирующее или вращающееся магнитное поле. Если исключить из рассмотрения демпферную обмотку и короткозамкнутую обмотку ротора, то обмотки статора и ротора практически не отличаются друг от друга. По количеству пазов между сторонами одной секции или катушки обмотки переменного тока разделяются на обмотки с целым и дробным числом пазов на полюс и фазу. По конструктивному исполнению различают катушечные и стержневые обмотки, одно- и двухслойные, укороченные и неукороченные, с одинаковой и разной шириной катушек. Существует также классификация обмоток по способу выполнения лобовых частей. В одно- и двухфазных обмотках различают главную (или основную) и вспомогательные обмотки.

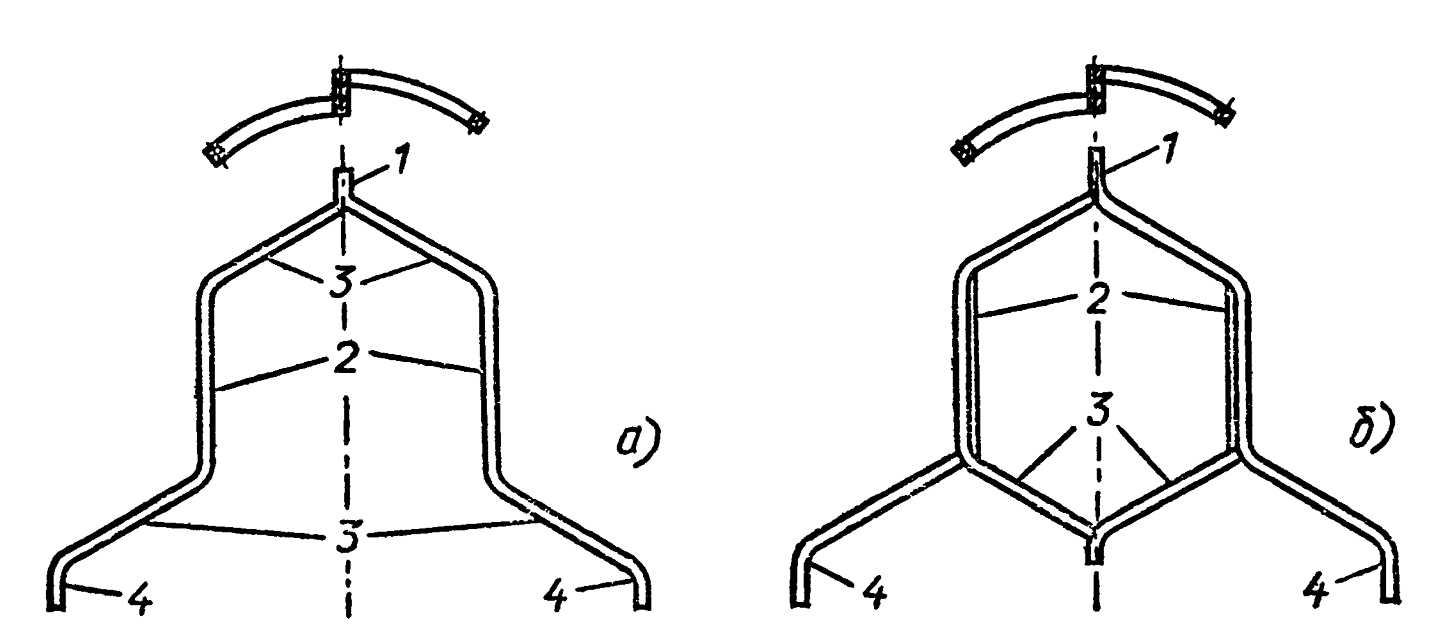
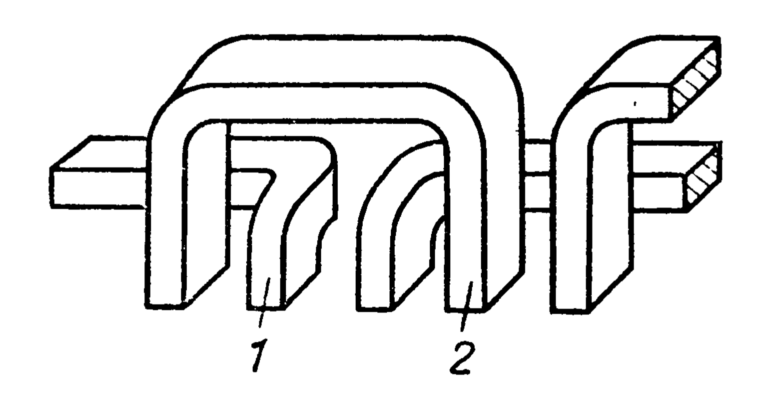


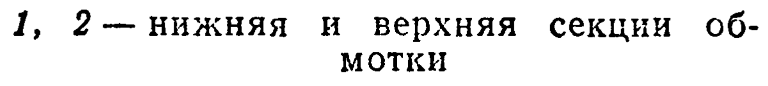
Рис. 89. Обмотка из шаблонных катушек:

а — открытая и *б* — закрытая катушки; *1* — лобовая часть; *2* — активные стороны; *3* — прямые участки лобовых частей; *4* — выводы

Обмотка ручного изготовления — обмотка статора машины переменного тока и обмотка якоря машины постоянного тока, секции которой укладываются в полузакрытые пазы вручную.

Обычно обмотка изготовляется из жесткого провода с изоляционным покрытием из хлопка, электротехнической бумаги, асбеста или других материалов. Секции формируются вручную без каких-либо приспособлений. Такие обмотки выполняются двух- или трехслойными. Данный способ изготовления наиболее часто используется применительно к барабанным обмоткам. Как правило, обмотки ручного изготовления обладают высокой механической прочностью и надежностью (рис. 90). При использовании провода с полистироловой изоляцией данный способ может быть применен и для изготовления всыпных обмоток. Электрические машины с обмотками ручного изготовления отличаются высокой ремонтопригодностью. Для повышения коэффициента заполнения по меди рекомендуется использовать медный или алюминиевый провод с тонким слоем изоляции.




Рис. 90. Обмотка ручного изготовления:
1, 2 — нижняя и верхняя секции обмотки

Обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу (ОДЧП) — обмотка машины переменного тока, у которой среднее число катушек, приходящихся на полюс p и фазу m, является дробным в отличие от обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{z}{2pm},$$

где z — общее число пазов магнитопровода.

Обычно ОДЧП может быть одно- или двухслойной, а также с количеством слоев больше одного и меньше двух, например $1^1/_2$, с катушками одинакового или разного шага (шаг обмотки). Различают симметричные и несимметричные ОДЧП. Данные обмотки используются в одно- и трехфазных асинхронных машинах, но наиболее распространены в явнополюсных синхронных генераторах, поскольку позволяют улучшить форму выходного напряжения генераторов. Рекомендуемые общие числа z пазов машин переменного тока с ОДЧП оговорены соответствующими ГОСТ. При изготовлении ОДЧП нередко принимают во внимание только число q. При намотке одно- и трехфазных двигателей переменного тока с целью получения низкой номинальной частоты вращения приходится увеличивать число $2p$ пар полюсов, вследствие чего появляется необходимость использования только ОДЧП.

Из общего числа изготовляемых промышленностью электрических машин переменного тока только 10 % имеют ОДЧП, причем с точки зрения способа их изготовления различают всыпные обмотки, обмотки из шаблонных секций и прошивные.

Обмотка с равномерным шагом — петлевая обмотка якоря, между сторонами каждой секции которой расположены пазы (рис. 91) в равном количестве.

Обмотка с целым числом пазов на полюс и фазу — многофазная обмотка переменного тока, количество q пазов которой из общего числа N пазов статора или ротора электрической машины в отличие от обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу равно целому числу на каждую пару $2p$ полюсов и на каждую фазу m электрической машины:

$$q = \frac{N}{2pm}.$$

Данные обмотки выполняются одно- и двухслойными с катушками одинаковой или разной ширины. В обоих случаях ширина зоны обмотки остается одинаковой. Лобовые части двухслойной обмотки расположены двумя ярусами. По такому же принципу выполняются и барабанные обмотки. Рассмотренные обмотки по способу изготовления разделяются на шаблонные, прошивные, катушечные.

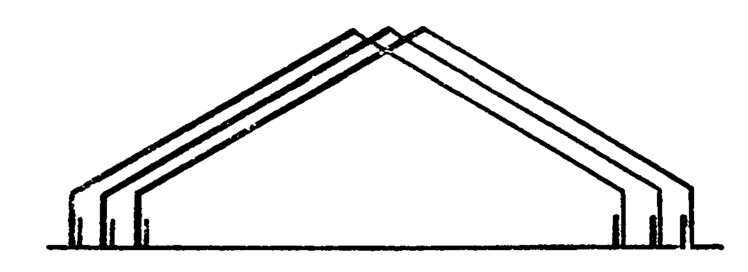


Рис. 91. Обмотка с равномерным шагом

Обмотка трансформатора — совокупность витков, образующих электрическую цепь, в которой суммируются электродвижущие силы, наведенные в витках с целью получения высшего, среднего или низшего напряжения трансфоратора или с другой целью.

Обычно обмотка состоит из катушек, количество витков, способ намотки и соединения которых определяются номинальным значением напряжения, значением рассеяния, силой протекающего через них тока и требованиями по электробезопасности.

По направлению преобразования энергии различают первичные и вторичные обмотки; по уровню напряжения — обмотки высшего, среднего и низшего напряжения; по способу намотки — цилиндрические и дисковые обмотки трансформатора [4].

Обмотка якоря коллекторной машины — кольцевая или барабанная обмотка ротора электрической машины, выполненная из отдельных секций, каждая из которых подключена к своей паре коллекторных пластин. Такие обмотки выполняются преимущественно двухслойными из круглого или плоского провода (катушечная или стержневая обмотки) и используются в электрических машинах постоянного тока и в одно- и многофазных коллекторных машинах переменного тока.

Обмоточная изоляция — изоляция обмоток электрических машин, обеспечивающая необходимую электрическую, механическую и термическую прочность обмоток.

Различают изоляцию твердую и жидкую. В качестве твердой изоляции используется бумага, стекловолокно, хлопок, шелк, в качестве жидкой — электротехнический лак и различные компаунды. Для повышения прочности обмоточной изоляции часто используют

комбинацию указанных изоляционных материалов, т. е. изолируют обмотки с последующей пропиткой компаундом и сушкой.

Обмоточный коэффициент — коэффициент, характеризующий снижение напряжения в фазе обмотки переменного тока вращающейся электрической машины.

Обмоточный коэффициент зависит от количества витков в катушке; слоев в пазу; зоны, занимаемой обмоткой; укорочения шага. В отличие от сосредоточенных обмоток в распределенных обмотках значение наведенной ЭДС несколько ниже при том же количестве витков, т. е.

$$E = 4,44 f N k_{об} \Phi.$$

Путем выбора соответствующего значения обмоточного коэффициента можно улучшить форму выходного напряжения синхронного генератора (получить максимальное приближение к синусоиде) и уменьшить потери от высших гармоник тока и напряжения в асинхронных двигателях.

Обозначение группы соединения обмоток трансформатора. При обозначении группы соединений обмоток трансформатора указывают, на сколько электрических градусов вектор напряжения вторичной обмотки отстает от вектора напряжения первичной обмотки или опережает его. Для удобства обозначения используется часовой циферблат, вектор напряжения первичной обмотки в котором направлен на 12 ч. Тогда при опережении напряжения вторичной обмотки на 30° группа соединения соответствует цифре 11, при отставании — 1. Указанные обозначения установлены ГОСТ.

Обратная секция обмотки (двухслойная обмотка).

Обратное вращающееся поле (вращающееся поле).

Обратное магнитное замыкание (линейный двигатель).

Объект регулирования — совокупность механических, электрических и прочих элементов, предназначенных для поддержания параметра регулирования на заданном уровне путем изменения управляющего воздействия.

В электроприводе объектом регулирования является электродвигательное устройство, частота вращения или момент которого поддерживается на заданном уровне.

Объект регулирования без саморегулирования — объект регулирования, в котором компенсация возмущающего воздействия на параметр регулирования невозможна без изменения управляющего воздействия. Таким характерным объектом является электрический генератор, в качестве управляющего воздействия в котором используется ток возбуждения, а параметром регулирования является напряжение на обмотке якоря. При увеличении тока нагрузки генератора происходит снижение выходного напряжения, обусловленное падением напряжения на обмотке и размагничивающим действием реакции якоря. Для восстановления напряжения в этом случае следует увеличить ток возбуждения. При сбросе нагрузки по указанной выше причине выходное напряжение генератора увеличивается и для его снижения следует уменьшить ток возбуждения.

Регулирование (замкнутое управление).

Объект регулирования с саморегулированием — объект регулирования, в принципе действия которого заложено свойство автоматической компенсации влияния возмущающего воздействия.

Таким характерным объектом регулирования является электродвигатель. После подключения его к питающей сети он при отсут-

ствии момента нагрузки на валу разгоняется до частоты вращения, соответствующей холостому ходу. При увеличении нагрузки частота вращения двигателя снижается, что сопровождается соответствующим увеличением развиваемого двигателем момента. При равенстве последнего и момента нагрузки двигатель устойчиво работает с новой частотой вращения. При еще большем увеличении момента нагрузки описанный процесс повторяется. При снижении момента нагрузки процесс саморегулирования происходит в обратном порядке. В асинхронных двигателях саморегулирование реализуется в пределах изменения момента нагрузки от нуля до критического момента. При превышении последнего моментом нагрузки происходит опрокидывание асинхронного двигателя с последующей остановкой. В двигателях постоянного тока такая опасность отсутствует.

Однопоплавковое реле (защита трансформатора).

Однослойная обмотка (слой обмотки).

Однофазная обмотка (обмотка переменного тока).

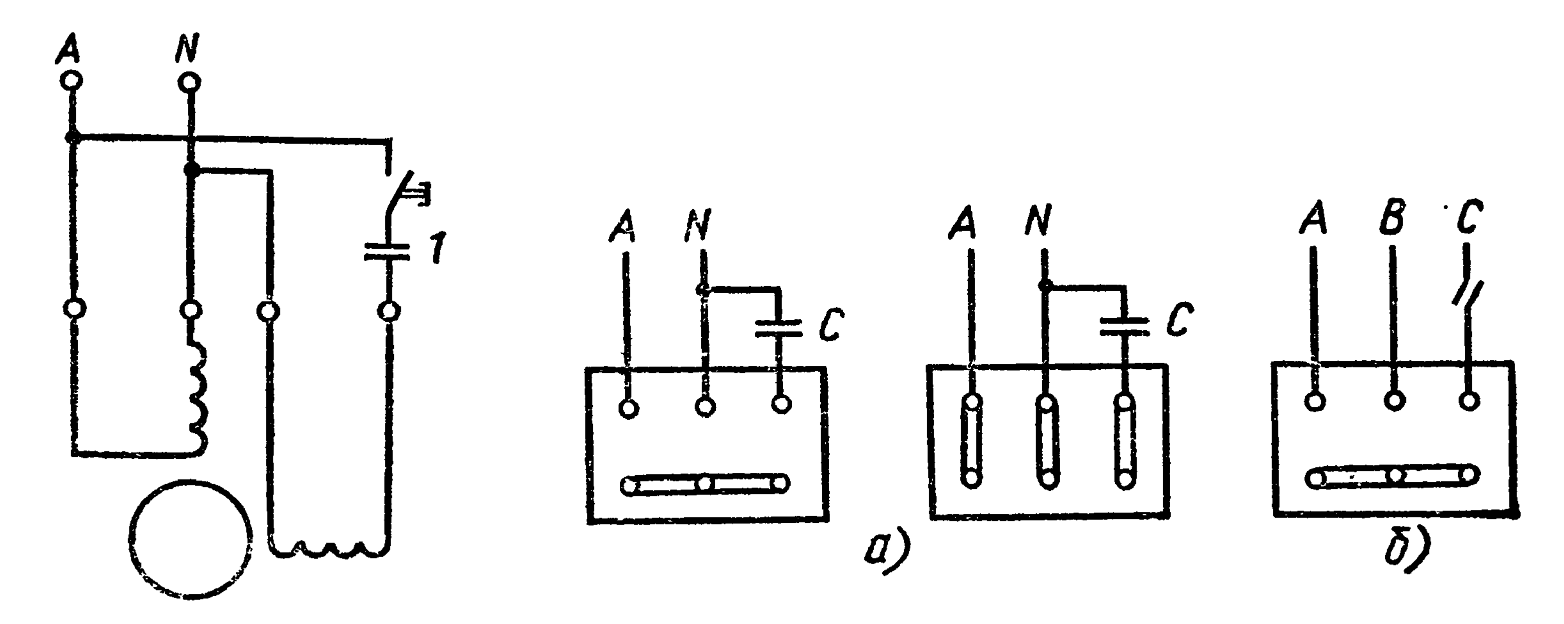


Рис. 92. Однофазный асинхронный двигатель: *1* — пусковой конденсатор

Рис. 93. Однофазный пуск: *а* — с пусковым конденсатором *С*; *б* — однофазное питание при обрыве фазы

Однофазный асинхронный двигатель — асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, на статоре которого расположены основная и вспомогательная обмотки, смещенные относительно расточки статора на 90°.

Вспомогательная обмотка предназначена для создания фазового сдвига напряжений основной и вспомогательной обмоток, в результате чего образуется эллиптическое вращающееся поле. Параллельно основной обмотке включена вспомогательная обмотка, в цепь которой постоянно или на время пуска включается пусковой конденсатор (конденсаторный асинхронный двигатель). При использовании пускового конденсатора отключение вспомогательной обмотки может быть произведено, например, с помощью пусковой кнопки (рис. 92). Для реверса однофазного асинхронного двигателя необходимо поменять местами выводы вспомогательной обмотки [2].

Однофазный пуск (ОП) — пуск трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от однофазной сети переменного тока.

В схеме ОП необходимый фазовый сдвиг между напряжениями главной и вспомогательной обмоток, обеспечивающий получение пускового момента, производится с помощью пускового конденсатора (рис. 93, *а*).

Для реализации ОП два вывода статорной обмотки двигателя подключаются к питающей сети, между любым из них и третьим выводом статорной обмотки включен пусковой конденсатор. Схема включения статорной обмотки зависит от значения линейного напряжения $U_л$. При $U_л=380$ В используется схема звезда, при $U_л=220$ В — треугольник. После разгона двигатель работает как обычный асинхронный двигатель, но при этом развивает меньший момент на валу. На практике схема ОП используется сравнительно

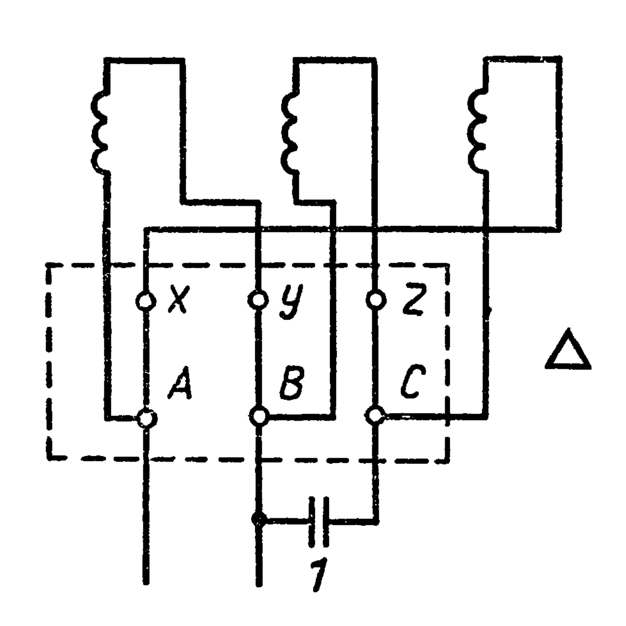


Рис. 94. Однофазный режим работы:

1 — рабочий конденсатор

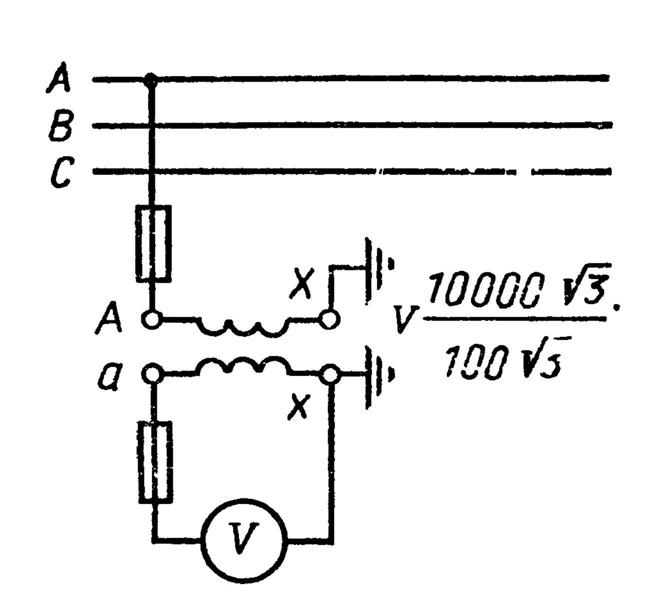


Рис. 95. Однофазный трансформатор напряжения

редко из-за большого значения емкости пускового конденсатора, увеличивающего массу и габариты электропривода. Однофазный режим работы трехфазного асинхронного двигателя возникает в случае обрыва одной из фаз питающей сети (рис. 93, *б*). В этом случае двигатель продолжает работать, но вследствие токовой перегрузки оставшихся в работе фазных обмоток происходит перегрев двигателя, что может явиться причиной его повреждения. Для устранения такого режима работы используется тепловая защита, срабатывающая при превышении двигателем предельно допустимого значения тока и отключающая автомат защиты. Для трехфазного асинхронного двигателя ОП без пускового конденсатора возможен только с помощью раскручивания ротора вручную в ту или иную сторону.

Однофазный режим работы — режим работы трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, при котором он подключен к однофазной сети переменного тока.

При подключении двух выводов статорной обмотки трехфазного асинхронного двигателя к однофазной сети переменного тока в его рабочем зазоре образуется пульсирующее магнитное поле, не создающее вращающего момента. Для пуска двигателя в ту или иную сторону его ротор следует раскрутить, например, рукой, после чего он выйдет на номинальную частоту вращения. Для обеспечения автоматического запуска необходимо использовать пусковой конденсатор. Так, например, при соединении фазных обмоток двигателя

по схеме треугольник (рис. 94) конденсатор можно включить между свободным выводом и одним из выводов питающей сети. При работе в однофазном режиме асинхронный двигатель теряет около 30 % мощности, развиваемой в трехфазном режиме работы.

Однофазный трансформатор напряжения — трансформатор напряжения, у которого один вывод первичной обмотки заземлен, а другой подключен к фазному проводу питающей сети (рис. 95) [6].

Одноякорный преобразователь — электрическая машина с неподвижным индуктором и вращающимся якорем, снабженным одной обмоткой с коллектором и контактными кольцами, предназначенная для преобразования переменного тока в постоянный или постоянного тока в переменный.

В конструктивном отношении статор преобразователя не отличается от статора обычной машины постоянного тока. На главных полюсах расположена параллельная обмотка возбуждения. На дополнительных полюсах расположена еще одна обмотка, включенная последовательно с обмоткой ротора (якоря). Кроме того, на главных полюсах расположена короткозамкнутая стержневая обмотка. На роторе помимо коллектора установлены два, три или шесть контактных колец.

Практически преобразователь может работать как синхронный двигатель, для чего на его щетки подается переменное одно- или многофазное напряжение, а с коллектора снимается постоянное выходное напряжение. При питании преобразователя от сети постоянного тока он работает как двигатель постоянного тока, а на выходе формируется одно- или многофазное напряжение. В последнее время область применения одноякорного преобразователя сужается благодаря появлению мощных полупроводниковых преобразователей напряжения [2].

Ом — единица измерения сопротивления участка электрической цепи; 1 Ом — сопротивление проводника, в котором при напряжении в 1 В возникает сила тока в 1 А.

Данная единица измерения названа в честь немецкого физика Георга Симона Ома (1787—1854) [7].

Оператор — человек, осуществляющий управление различными автоматизированными комплексами, машинами, агрегатами и т. п.

Оплавление контактов — перегрев контактов от рабочего или аварийного тока, при перегреве температура контактов достигает температуры плавления материала, из которого они изготовлены.

Наиболее часто оплавление возникает при увеличении переходного сопротивления контактов, являющегося следствием загрязнения или обгорания рабочих поверхностей контактов. Оплавление контактов может иметь место при прямом пуске электродвигателей, при высокой частоте коммутации и при малой скорости сближения контактов. Устранение оплавления достигается путем выбора соответствующих материалов.

Опора подшипника — неподвижная часть подшипника скольжения или качения, определяющая положение вала электрической машины.

В качестве опоры в электрических машинах используются подшипниковые щиты и стойки. Подшипниковый щит является конструктивным элементом электрической машины и крепится к торцу статора. Подшипниковый щит не только передает момент ротора, но и центрирует его относительно расточки статора. Подшипнико-

вые стойки устанавливаются на фундаменте вместе с корпусом электрической машины, при этом часто подшипник устанавливается и в подшипниковом щите, т. е. указанные функции в этом случае распределяются между подшипниковым щитом и стойкой. Опоры подшипников изготовляются из чугуна, стального листа или сплавов алюминия, а в электрических машинах малой мощности — из металлокерамики или синтетических материалов и выполнены в виде втулок или конусов, запрессованных в корпус машины. В электрических машинах большой мощности опоры подшипников снабжаются кольцевыми каналами и масляными камерами, улучшающими смазку подшипника. Способы их крепления в корпусах электрических машин весьма многочисленны и выбираются с учетом требований к технологии изготовления и ремонта, условий эксплуатации и т. д.

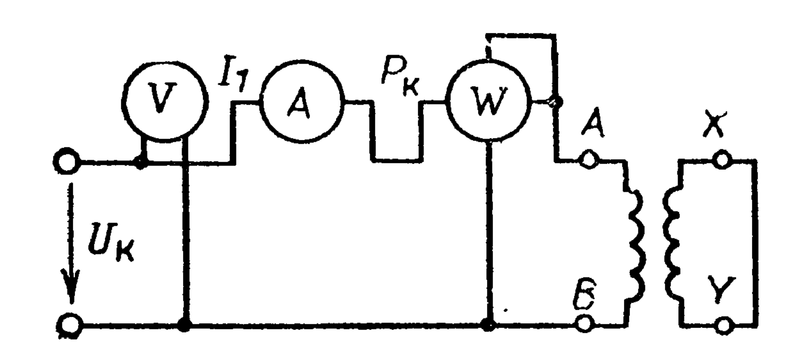


Рис. 96. Опыт короткого замыкания:

$U_к$, $P_к$ — напряжение и мощность короткого замыкания

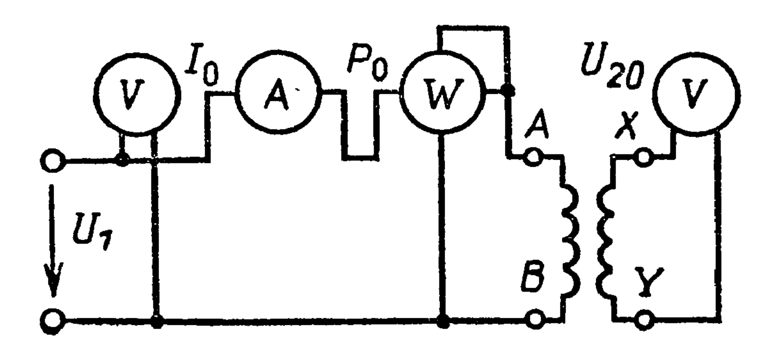


Рис. 97. Опыт холостого хода:

U_1 — номинальное напряжение; I_0, U_{20}, P_0 — ток, напряжение и мощность холостого хода

Определение коэффициента трансформации — один из способов испытания трансформаторов, которое проводится для трансформаторов, имеющих обмотки с отпайками. При определении коэффициента трансформации на первичную обмотку трансформатора подается номинальное напряжение, отклонение которого не должно превышать 1 %. После этого на вторичной обмотке измеряется напряжение, причем для повышения точности измерения используется измерительный мост переменного тока или метод двух напряжений (компенсационный метод). Для трансформаторов напряжением выше 1 кВ точность поддержания напряжения на первичной обмотке должна быть не менее $100 \pm 0{,}5$ % или не менее $(1 \pm 0{,}1)$ % напряжения короткого замыкания.

Опыт короткого замыкания (КЗ) — режим КЗ, осуществляемый с целью опытного определения потерь, напряжения КЗ и других параметров и характеристик пары обмоток трансформатора при номинальной частоте и пониженном против номинального напряжении на одной из обмоток при закороченной второй обмотке этой пары и остальных обмотках, не замкнутых на внешние цепи.

В опыте КЗ вторичная обмотка закорочена (рис. 96). Напряжение на первичной обмотке увеличивается от нуля до значения, при котором ток в ней равен $(0{,}25 \div 0{,}7)\ I_{ном}$ при номинальной частоте указанного напряжения. Мощность, измеренная в цепи первичной обмотки, соответствует потерям КЗ, поскольку потери холостого хода пренебрежимо малы. Приложенное к первичной обмотке напряжение соответствует напряжению КЗ, которое существенно

меньше номинального напряжения, если магнитная система слабо намагничена (не насыщена).

Потери и напряжение КЗ находятся соответственно в квадратичной и линейной зависимости от отношения номинального тока к его измеренному значению. Из опыта КЗ можно определить также класс изоляции обмоток [8].

Опыт холостого хода (XX) — режим холостого хода трансформатора, осуществляемый при номинальной частоте и различных значениях синусоидального напряжения первичной обмотки с целью опытного определения потерь, тока XX и других параметров и характеристик трансформатора (рис. 97).

В опыте XX переменное напряжение с номинальными амплитудой и частотой подается на первичную обмотку трансформатора, вторичные обмотки которого разомкнуты — по ним не протекает ток

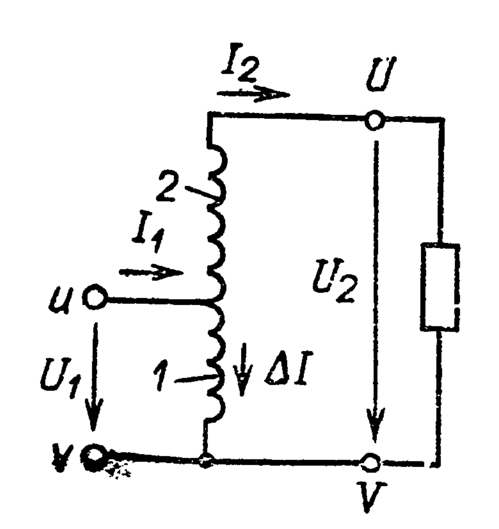


Рис. 98. Основная обмотка автотрансформатора:

1, 2 — основная и дополнительная обмотки

нагрузки. Ваттметр, включенный в цепь первичной обмотки, позволяет определить потери XX, т. е. потери в стали магнитной системы. Потери на нагрев обмоток в опыте XX практически отсутствуют [8].

Основная изоляция (изоляция трансформатора).

Основная обмотка автотрансформатора — часть всей обмотки автотрансформатора, принадлежащая первичной и вторичной обмоткам.

По основной обмотке протекает ток, равный разности токов первичной и вторичной обмоток (рис. 98). Этот ток и определяет сечение провода. Количество витков основной обмотки зависит от значения напряжения в обмотке низшего напряжения.

Основной ряд — ряд мощностей трехфазных трансформаторов, нагрузка каждого из которых изменяется в ограниченном диапазоне. Накладываемые на трансформаторы ограничения по изменению нагрузки продиктованы стремлением поддерживать максимальный КПД, имеющий наибольшее значение при изменении нагрузки в пределах $(0{,}5\div1{,}0)\ S_{ном}$. Основной ряд представлен следующими значениями мощности: 5, 10, 20, 30, 50 и 100 кВ·А при напряжении на стороне высокого напряжения 10, 15 и 20 кВ. Помимо указанных мощностей изготовляются также трансформаторы на специальный ряд мощностей 5; 20; 15; 25; 37,5; 50 кВ·А при тех же значениях напряжения на стороне высокого напряжения. Эти трансформаторы допускают значительную перегрузку и могут длительно работать в режиме, близком к холостому ходу.

Особенности преобразовательного трансформатора — особенности, отражающие возможность использования одного трансформатора для повышения и понижения напряжения.

Как известно, трансформатор без каких-либо изменений конструкции можно использовать для повышения и понижения напряжения. В первом случае обмотка с меньшим количеством витков подключается к питающей сети переменного тока, во втором случае к ней подключается обмотка с бо́льшим количеством витков. Это означает, что один трансформатор имеет два коэффициента трансформации $k_{тр1}$ и $k_{тр2}$. Так, если $w_1 = 440$ витков, а $w_2 = 110$ витков, то $k_{тр1} = w_1/w_2 = 4$, а $k_{тр2} = w_2/w_1 = 0{,}25$.

Остаточное намагничивание (петля гистерезиса).

Осушитель воздуха трансформатора предназначен для поддержания на заданном уровне влажности воздуха внутри расширителя масляного бака трансформатора. При изменении температуры активных частей трансформатора происходит изменение объема масла в расширителе, в результате чего излишки воздуха выбрасываются в атмосферу или воздух поступает из нее в расширитель. Содержащаяся в воздухе влага конденсируется на стенках расширителя и растворяется в масле, что приводит к снижению его электрической прочности как диэлектрика. Для устранения этого недостатка в расширитель помещается порошок нитрата кобальта, обладающий высокой гигроскопичностью. Кристаллы этого порошка хорошо впитывают влагу (до 40 % собственной массы). При этом происходит изменение их первоначального, голубого цвета. Восстановление поглощающей способности порошка производится при температуре 200—300 °С.

Относительная диэлектрическая проницаемость (диэлектрическая проницаемость).

Относительное напряжение короткого замыкания (напряжение короткого замыкания трансформатора).

Охлаждение обдувом — способ охлаждения электрической машины, при котором охлаждающий воздух принудительно прогоняется вдоль корпуса.

Охлаждение циркуляционное — охлаждение трансформатора с использованием принудительного повышения скорости движения заполняющего трансформатор теплоносителя при помощи насосов или вентиляторов.

При этом повышается интенсивность теплообмена между теплоносителем и активными частями трансформатора. В отличие от естественного при циркуляционном охлаждении мимо охлаждаемых поверхностей в единицу времени проходит большее количество теплоносителя за счет увеличения скорости его перемещения. В трансформаторах с масляным охлаждением довольно часто организуют внутренний контур циркуляции. В этом случае нагретое масло с помощью насоса подается в верхнюю часть бака трансформатора и после охлаждения вновь возвращается в указанный контур охлаждения.

Охлаждение электрических машин — отвод тепла от активных частей вращающихся электрических машин.

При прохождении тока по обмоткам электрических машин в них выделяется тепло, что приводит к нагреву обмоток. Если температура нагрева превышает значение, допустимое для используемой изоляции, то происходит ее тепловое старение. В результате изоляция теряет электрическую и механическую прочность, что может явиться причиной ее повреждения и нарушения работоспособности электрической машины. Для поддержания требуемого температурного режима служит охлаждение.

Эффективность того или иного способа охлаждения определяется теплопроводностью изоляции и теплоемкостью хладагента, а также характером и скоростью его перемещения внутри и вне электрической машины. В качестве хладагента используются воздух, вода, масло и т. д. Жидкий хладагент может служить для охлаждения как ротора, так и статора электрической машины, причем направление его движения может быть свободным или упорядоченным.

П

Падение напряжения — значение напряжения на участке электрической цепи, по которому протекает электрический ток. Причиной падения напряжения является электрический ток. Знак падения напряжения совпадает со знаком тока в электрической цепи [1].

Падение напряжения на индуктивном сопротивлении рассеяния трансформатора. Возникающие в области обмоток трансформатора магнитные поля рассеяния приводят к дополнительному падению напряжения в обмотках, что снижает коэффициент трансформации трансформатора. Снижение потоков рассеяния достигается путем выбора соответствующей конструкции обмоток и магнитной системы.

Пакет статора — неподвижная часть магнитопровода электрической машины постоянного или переменного тока, которая набирается из отдельных листов электротехнической стали.

Обычно пакет расположен в корпусе машины, изготовляемом из стального листа, отливаемого из чугуна или легированных сплавов из алюминия. Конструктивное исполнение корпуса соответствует используемой системе охлаждения машины и способу защиты от внешних воздействий. Пакет статора игзотовляется из отдельных листов горячекатаной или холоднокатаной электротехнической стали. Поверхность листа покрывается электроизоляционным лаком с одной стороны или оксидной пленкой с двух сторон. Листы собираются в пакет с помощью шпилек. На внешней стороне пакета имеются пазы, входящие в соответствующие выступы на внутренней поверхности корпуса, благодаря чему обеспечивается их надежная взаимная фиксация. У края внутренней поверхности пакета статора выполнены пазы для размещения обмотки. В торце корпуса имеются крепежные отверстия для фиксации подшипниковых щитов и центровки подшипников. На корпусе расположена также клеммная коробка, к которой присоединяются выводы обмотки статора, протягиваемые через отверстие в корпусе машины. Для транспортировки машины в верхней части корпуса установлен рым-болт (рис. 99).

Пакетный выключатель (ПВ) — выключатель, предназначенный для коммутации электрических цепей низкого напряжения (рис. 100).

В ПВ замыкание и размыкание контактов осуществляется посредством поворота сегмента из электроизоляционного материала, по поверхности которого перемещаются концы штоков, соединенных с контактными пластинами.

Контакты ПВ должны обладать высокой термической устойчивостью и не должны подвергаться окислению, поскольку оплавление и окисление приводят к резкому увеличению переходного сопротивления. В общем случае механизм ПВ обеспечивает скачкообразное

замыкание и размыкание контактных пар, причем последние могут располагаться в специальных камерах, способствующих быстрому гашению электрической дуги. Отдельные группы контактов ПВ монтируются в плоских секциях цилиндрической или прямоугольной формы, которые собираются вместе и снабжаются общим исполнительным механизмом, вал которого проходит через центр указанных секций. Приспособление для перемещения контактных пластин выполняется таким образом, что в любой секции могут быть образованы как замыкаемые, так и размыкаемые контакты. Сегменты иногда крепятся на валу исполнительного механизма с некоторым угловым сдвигом, что позволяет при изменении углового положения

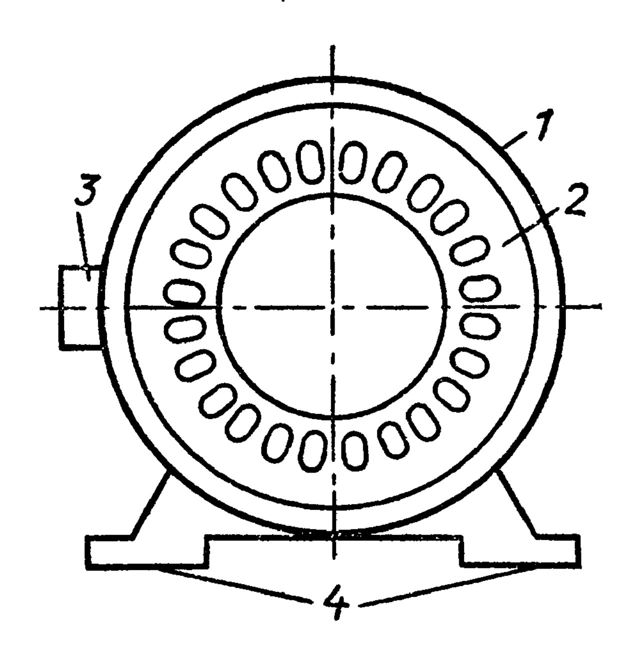


Рис. 99. Пакет статора:

1 — корпус машины; *2* — пакет статора; *3* — клеммная коробка; *4* — лапы

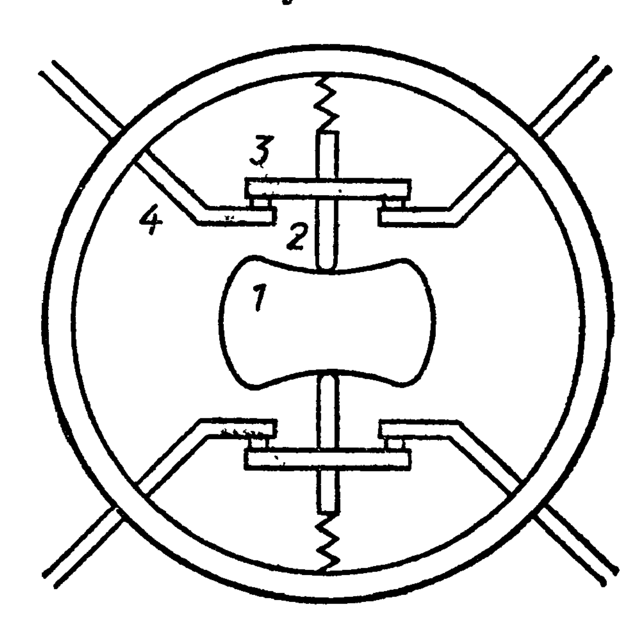


Рис. 100. Пакетный выключатель:

1 — сегмент; *2* — шток; *3*, *4* — подвижные и неподвижные контактные пластины

органа управления ПВ обеспечить замыкание и размыкание соответствующих контактных пар в необходимой последовательности. Наиболее часто ПВ используются для коммутации электрических цепей незначительной мощности (в системах автоматики, в схемах управления маломощных электродвигателей и нагревательных приборов).

Параллельная обмотка (петлевая обмотка).

Параллельная работа генераторов используется для повышения надежности электропитания и реализуется путем соединения одноименных выводов их обмоток.

При параллельной работе генераторов постоянного тока регуляторы возбуждения должны поддерживать равенство напряжения на обмотках якоря с целью устранения уравнительного тока. Более загруженным оказывается генератор, имеющий большее напряжение.

При параллельной работе синхронных генераторов возникающий между ними уравнительный ток носит реактивный характер ввиду значительного индуктивного сопротивления обмоток переменного тока. Перевозбужденный синхронный генератор является источником опережающего, реактивного тока, поступающего в обмотку якоря недовозбужденного генератора, т. е. перевозбужденный синхронный генератор проявляет себя по отношению к другому генератору как конденсаторная батарея и компенсирует часть реактивной мощности невозбужденного синхронного генератора. Распределение

реактивной мощности между параллельно работающими синхронными генераторами осуществляется изменением тока возбуждения. Для перераспределения активной мощности следует изменять момент первичного двигателя соответствующего синхронного генератора. При этом более нагруженным при одинаковых токах возбуждения является синхронный генератор с большим моментом первичного двигателя. На практике синхронные генераторы нередко используются для параллельной работы с питающей трехфазной сетью переменного тока. В этом случае напряжение сети имеет постоянное значение независимо от нагрузки генератора.

Параллельная работа трансформаторов — режим работы двух и более трансформаторов (или питающей сети), при котором нагрузка равномерно распределяется между трансформаторами.

Различают параллельную работу трансформаторов и параллельную работу трансформатора с сетью. Обязательным условием включения трансформаторов на параллельную работу является соединение одноименных фаз первичной и вторичной обмоток. Исключение составляют трансформаторы с группами соединения обмоток 5 и 11.

Распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами осуществляется пропорционально их напряжениям короткого замыкания. Зная номинальную мощность и напряжение короткого замыкания каждого трансформатора, можно рассчитать его нагрузку. Если в цепь вторичной обмотки трансформатора с меньшим значением напряжения короткого замыкания включить дроссель, то можно предотвратить его перегрузку. Регулирование загрузки трансформатора осуществляется посредством добавочных резисторов [4].

Параллельная работа энергосистем (параллельная работа генераторов).

Параллельное возбуждение — один из способов возбуждения генератора постоянного тока, при котором обмотка возбуждения подключается параллельно обмотке якоря.

Ввиду того что обмотка возбуждения подключается на то же напряжение, что и обмотка якоря, она выполняется из провода небольшого диаметра с большим количеством витков [8].

Параллельное соединение участков электрической цепи. При параллельном соединении к каждому участку приложено одинаковое напряжение. При параллельном соединении резисторов (рис. 101) полное сопротивление может быть определено из выражения

$$\frac{1}{R_\Sigma} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

и всегда меньше по значению наименьшего сопротивления. Полный ток, протекающий в электрической цепи с параллельно соединенными резисторами, равен сумме токов, протекающих через каждый резистор. При этом соотношение между токами и значениями сопротивлений отдельных резисторов выглядит следующим образом:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \text{ или } \frac{I_1}{I_\Sigma} = \frac{R_\Sigma}{R_1}.$$

Параллельное соединение используется для перераспределения токов между отдельными участками цепи [1].

Парамагнитное вещество (магнитная проницаемость).

Параметр регулирования — параметр, значение которого, как правило, поддерживается на заданном уровне, например температура, частота вращения, расход воздуха или воды и т. д.

Первичная обмотка — обмотка трансформатора, к которой подводится энергия преобразуемого переменного тока. Первичная обмотка для питающей сети является потребителем и может быть обмоткой высшего или низшего напряжения соответственно для понижающего и повышающего трансформаторов.

При проведении расчетов трансформатора все параметры и величины, относящиеся к первичной обмотке, записываются с индексом 1, например R_1, x_1 — активное и индуктивное сопротивления, U_1, I_1 — напряжение и ток [4].

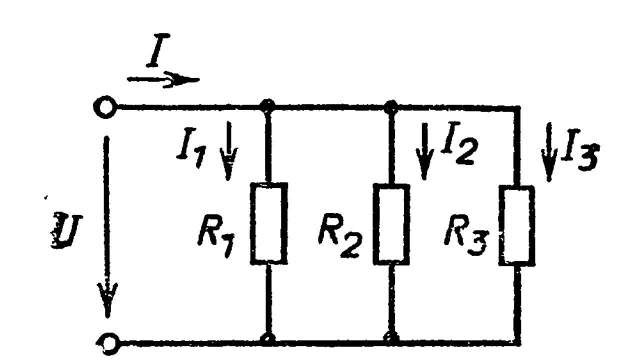


Рис. 101. Параллельное соединение участков электрической цепи

Первый закон Кирхгофа — один из основных законов электрических цепей, согласно которому сумма токов всех ветвей, сходящихся в одном узле, равна нулю, т. е. сумма токов, входящих в узел, равна сумме токов, выходящих из этого узла.

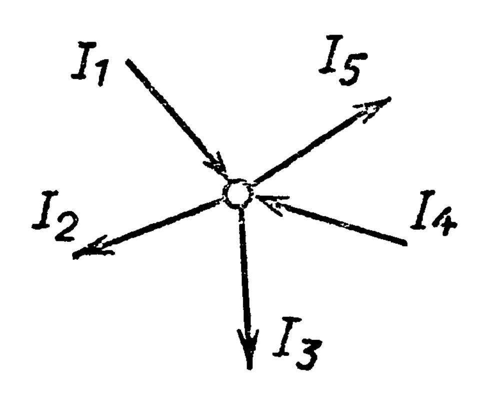


Рис. 102. Первый закон Кирхгофа

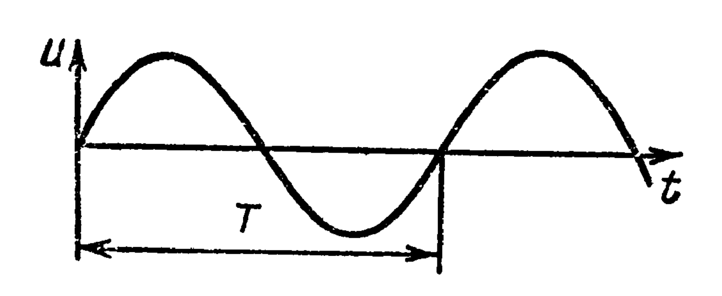


Рис. 103. Период электрического сигнала

Для рис. 102 этот закон записывается в следующем виде:

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5.$$

В том случае, если изменится ток хотя бы в одной ветви, например I_5, автоматически изменятся токи I_1 и I_4 с сохранением указанного равенства.

Перегрузка (нагрузка).

Передаточное устройство — устройство, предназначенное для передачи механической энергии от электродвигательного устройства электропривода к исполнительному органу рабочей машины и для согласования вида и частот вращения их движения.

Передаточное устройство либо осуществляет непосредственную передачу момента двигателя рабочей машине, либо дополнительно реализует снижение частоты вращения двигателя или преобразова-

ние его вращательного движения в механическое движение другого типа. В качестве передаточных устройств используются ременные, зубчатые и червячные передачи, а также различные муфты сцепления, в том числе фрикционные, электромагнитные и электромеханические. Указанные передаточные устройства создают дополнительный момент сопротивления, приводящий к снижению частоты вращения электропривода.

Период электрического сигнала — наименьший интервал времени, по истечении которого мгновенные значения периодического сигнала повторяются (рис. 103).

Условное обозначение — T. Период обратно пропорционален частоте f изменения электрического сигнала:

$$T = 1/f.$$

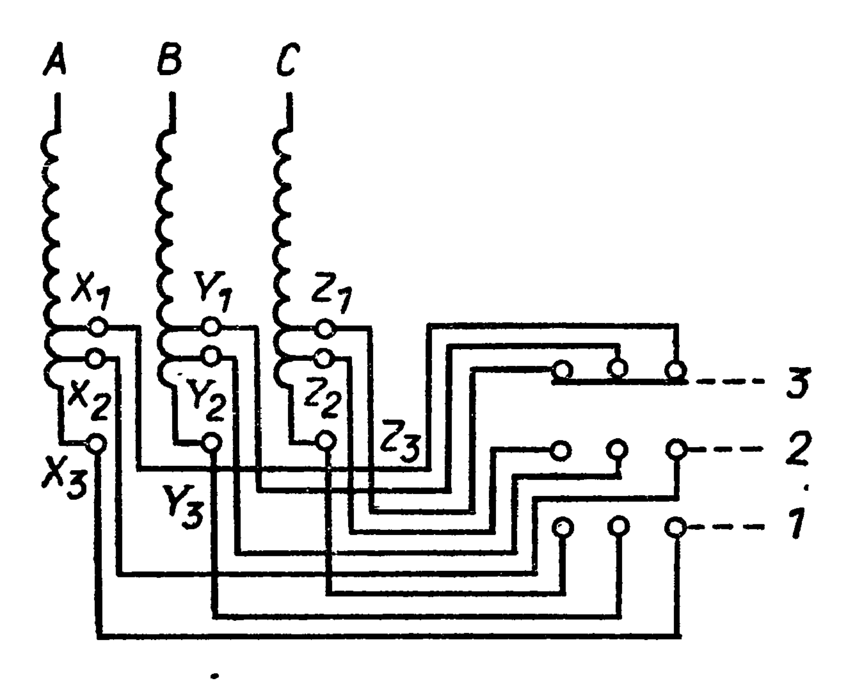


Рис. 104. Переключатель нулевой точки:

1—3 — ступени переключателя

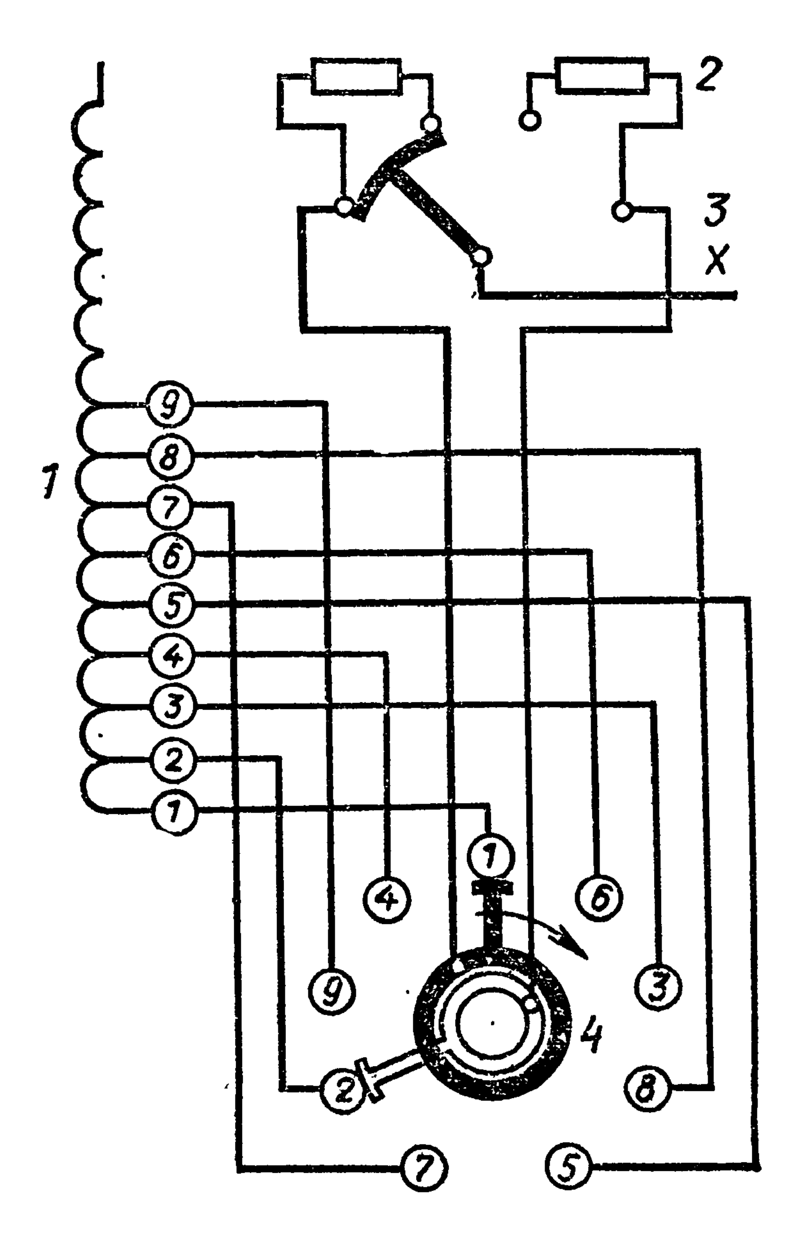


Рис. 105. Переключатель отпаек трансформатора:

1 — коммутируемая обмотка; *2* — добавочные резисторы; *3* — переключатель; *4* — контактная система

Переключатель нулевой точки — переключатель отпаек обмотки высшего напряжения силового трехфазного трансформатора, соединенной по схеме звезда.

Обычно переключатель содержит группы неподвижных контактов, в каждую из которых входит по три контакта. Эти контакты подключены к выводам и отпайкам обмотки высшего напряжения трансформатора (рис. 104). Подвижный контакт переключателя замыкает накоротко неподвижные контакты любой группы в зависимости от положения его органа управления. Недостатком переключателя является появление асимметрии магнитной системы ввиду неравномерного расположения отпаек по высоте стержней магнитной системы. Возникающее при этом рассеяние приводит к появлению аксиальных усилий в обмотках трансформатора. Силовой

трансформатор с переключателем нулевой точки обладает низкой устойчивостью к действию тока короткого замыкания. Указанные недостатки менее сильно проявляются при использовании переключателя отпаек.

Переключатель отпаек трансформатора — переключатель, предназначенный для изменения количества витков первичной обмотки регулировочного трансформатора.

Переключение отпаек обмотки трансформатора производится при подключенном потребителе, или, как обычно говорят, под нагрузкой. Переключение отпаек позволяет дискретно изменять напряжение вторичной обмотки, а следовательно, и напряжение в нагрузке.

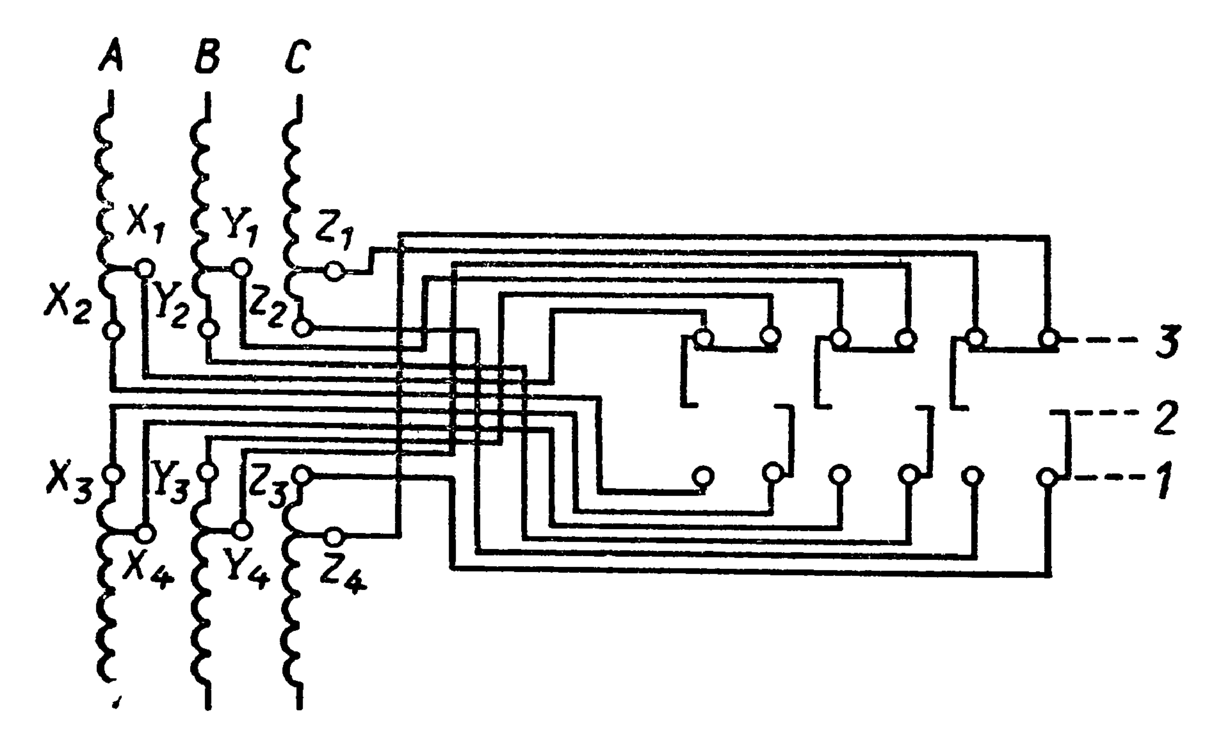


Рис. 106. Переключатель ступеней трансформатора:

1—3 — ступени переключения

Переключатель состоит из вращающегося контакта, установленного на валу исполнительного механизма, и расположенных вокруг вала неподвижных контактов, к которым подключены отпайки обмотки трансформатора. Вращающийся контакт соединен с выводом обмотки трансформатора (рис. 105) и приводится во вращение с помощью электродвигателя. Переходный ток, вызванный переключением отпаек обмотки, гасится с помощью токоограничительных резисторов [4].

Переключатель ступеней трансформатора — переключатель, предназначенный для коммутации под нагрузкой отпаек первичной обмотки силового трансформатора с целью регулирования напряжения на нагрузке (рис. 106).

Первичная обмотка регулируемого под нагрузкой трансформатора соединяется по схеме звезда или треугольник. В первом случае отсутствует магнитная асимметрия в стержнях магнитной системы трансформатора.

Переключающая функция — функция, устанавливающая однозначную взаимосвязь между входными и выходными сигналами и соответствующая изменению состояния логического устройства. Такая функция на практике отображается с помощью таблицы состояний или диаграммы переключения. Переключающая функция

позволяет синтезировать логические схемы и устройства, реализующие заданный алгоритм работы дискретной схемы.

Перемежающийся режим работы — режим работы электрической машины, при котором кратковременная неизменная нагрузка чередуется с холостым ходом, причем как при нагрузке, так и при холостом ходе температура машины не достигает установившихся значений [8].

Переменное напряжение — напряжение, периодически изменяющее свое значение и знак.

Если определить среднее значение переменного напряжения за некоторый промежуток времени, то оно окажется равным нулю. С точки зрения формы различают напряжения синусоидальной, трапецеидальной, треугольной и других форм. Наибольшее распространение получило синусоидальное переменное напряжение [1].

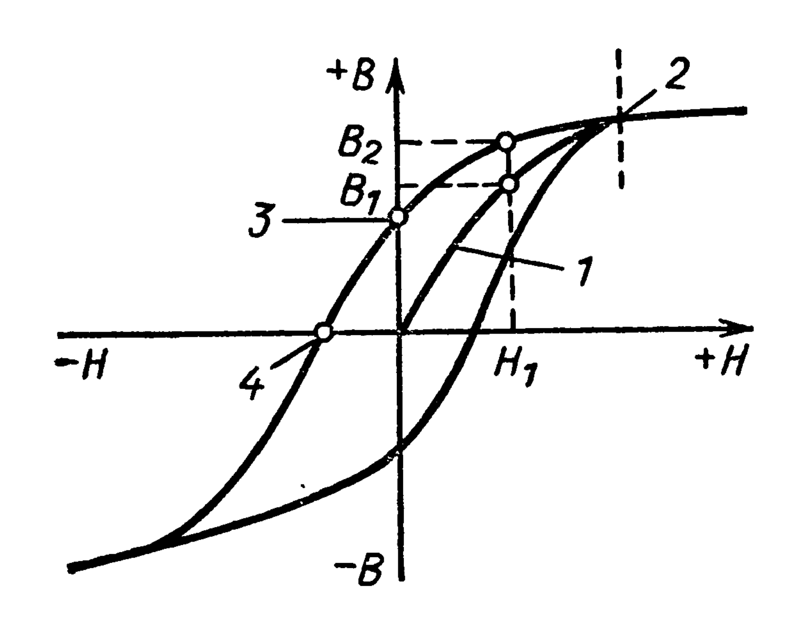


Рис. 107. Петля гистерезиса:

1 — кривая намагничивания; *2* — область насыщения; *3* — остаточное намагничивание; *4* — коэрцитивная сила; *B*, *H* — индукция и напряженность магнитного поля

Переменное синусоидальное напряжение — переменное напряжение, мгновенное значение которого изменяется по синусоидальному закону:

$$u = U \sin \omega t.$$

Такое напряжение не имеет каких-либо бросков и провалов, т. е. изменяется плавно, его форма не изменяется при включении в электрическую цепь активного сопротивления, индуктивной катушки и конденсатора. На практике форма напряжения несколько отличается от идеальной синусоиды [1].

Петля гистерезиса — зависимость между индукцией B и напряженностью H магнитного поля в ферромагнитных материалах (рис. 107).

При намагничивании ферромагнитного вещества во внешнем магнитном поле по мере увеличения его напряженности происходит увеличение значения индукции. При этом приращение напряженности опережает приращение индукции, а затем рост индукции практически прекращается. В этом случае говорят, что ферромагнитное вещество находится в состоянии насыщения. При последующем снижении напряженности до значения H_1 индукция принимает значение B_2 в отличие от значения B_1, соответствующего значению напряженности H_1 при намагничивании вещества. При снижении напряженности до нулевого значения в ферромагнитном веществе сохраняется остаточное значение индукции, поскольку его элементарные магниты (домены) частично сохраняют ориентацию относительно

существовавшего внешнего магнитного поля. Таким образом, для ферромагнитного вещества характерно явление остаточной намагниченности. Для устранения *остаточной намагниченности* необходимо изменить направление внешнего магнитного поля на обратное, причем значение напряженности обратного поля, обращающее в нуль значение индукции в ферромагнитном веществе, называется *коэрцитивной силой*. При увеличении напряженности обратного магнитного поля также наступает состояние насыщения. При последующем снижении напряженности до нуля, изменении ее знака и увеличении до некоторого значения вновь наступает насыщение ферромагнитного вещества, т. е. совокупность значений индукции и напряженности магнитного поля в ферромагнитном веществе образует замкнутую кривую, называемую петлей гистерезиса. В отличие от магнитомягких материалов магнитотвердые имеют высокие значения остаточной индукции и коэрцитивной силы.

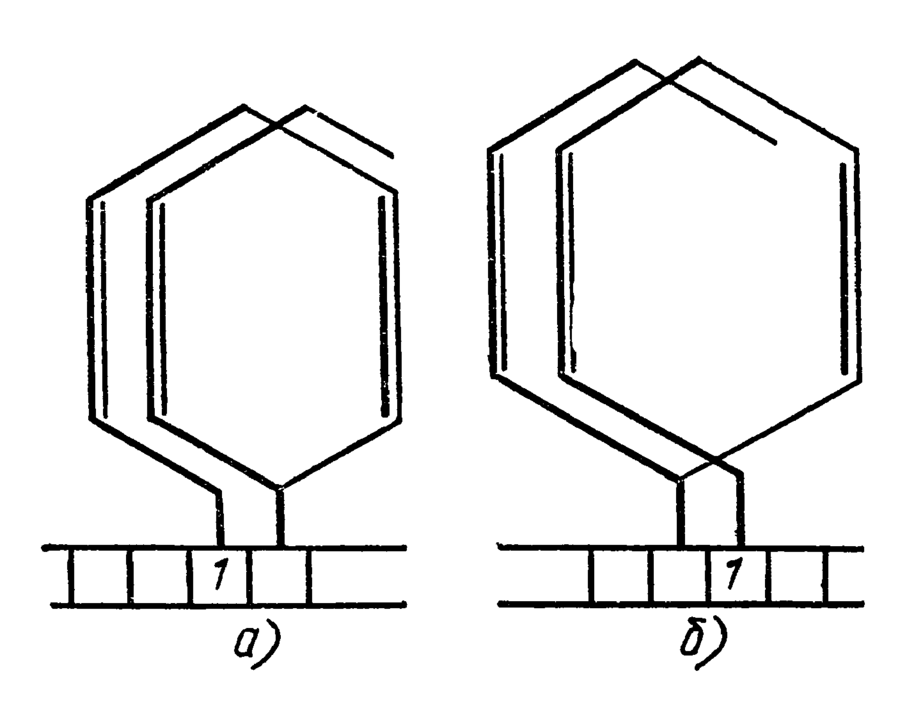


Рис. 108. Петлевая обмотка:

а — правоходовая; *б* — левоходовая

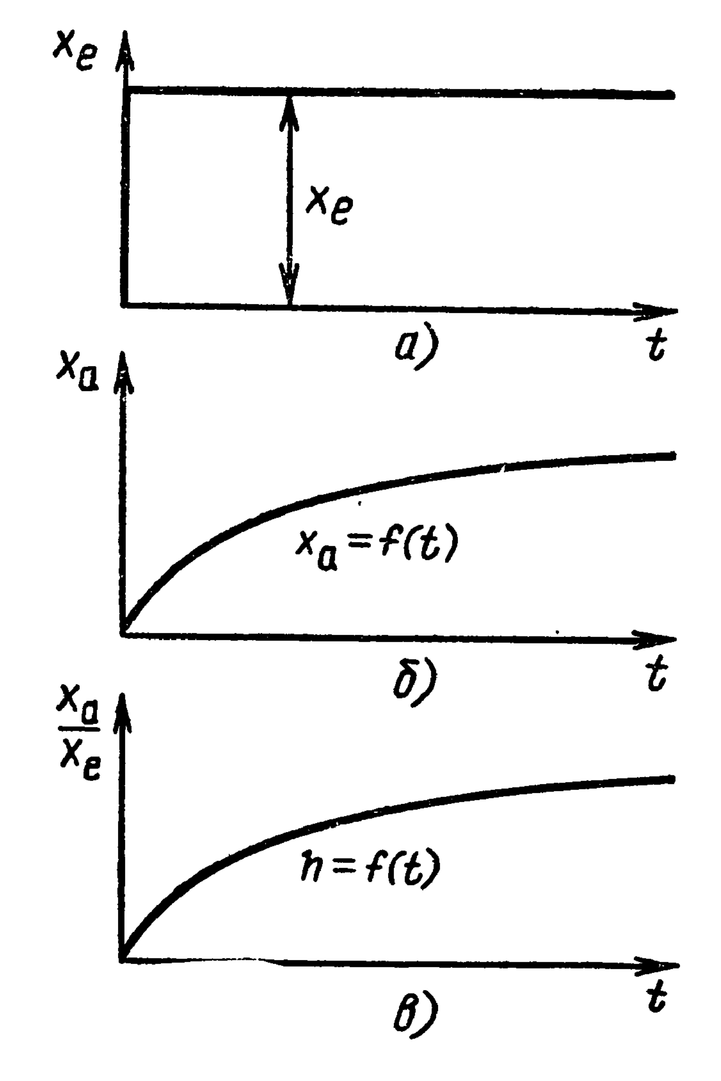


Рис. 109. Переходная функция:

а — входной тестовый сигнал $x_e(t)$; *б* — выходной сигнал $x_a(t)$; *в* — переходная функция $h(t)$

Петлевая обмотка. В петлевой обмотке q катушек, расположенных на данном полюсном делении, соединяются между собой последовательно и согласно, образуя катушечную группу.

Петлевые обмотки делятся на одно- и двухслойные, а по направлению укладки — на право- и левоходовые. В однослойных обмотках начало секции присоединяется к одной коллекторной пластине, а конец — к соседней коллекторной пластине. В двухслойных обмотках слои располагаются в пазу один над другим. В правоходовой петлевой обмотке обратная ветвь секции обмотки расположена слева от прямой ветви (рис. 108, *а*), в левоходовой обмотке — справа от прямой ветви (рис. 108, *б*). Петлевые обмотки называют также параллельными, поскольку они включаются параллельно

щеткам. Они используются в низковольтных электрических машинах с большими токами и могут быть реализованы при любом количестве пазов. Наибольшее распространение петлевые обмотки получили в машинах постоянного тока малой и средней мощности.

Переходная функция — функция, отражающая графически изменение выходного сигнала элемента или контура системы автоматического регулирования в функции времени при подаче на вход тестового сигнала.

На рис. 109 в осях x_e и t описывается тестовый сигнал; в осях x_a и t — график изменения выходного сигнала $x_a=f(t)$; в осях x_a/x_e и t—переходная функция. С помощью этой функции можно определить время запаздывания сигнала в том или ином элементе или во всей системе автоматического регулирования. При синусоидальной форме тестового сигнала можно определить не только амплитудную, но и фазовую переходную функцию, т. е. фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного.

Переходная характеристика интегрального звена — характеристика, отражающая процесс изменения выходного сигнала интегрального звена при подаче на его вход импульсного сигнала.

При скачкообразном увеличении амплитуды сигнала на входе интегрального звена на его выходе имеет место плавное увеличение сигнала до некоторого установившегося значения.

Переходная характеристика пропорционального звена — характеристика, отображающая процесс изменения выходного сигнала пропорционального звена при изменении сигнала на его входе.

Переходная характеристика в отличие от аналогичной характеристики интегрального и дифференциального звеньев выражается линейной зависимостью типа $y=kx$, где y и x — выходной и входной сигналы, k — коэффициент пропорциональности. При рассмотрении усилителей под k понимается коэффициент усиления. Графически переходная характеристика представляется в виде прямой линии, выходящей из начала координат под некоторым углом к оси абсцисс. Тангенс этого угла равен коэффициенту k пропорционального звена.

Переходная характеристика сложной электрической цепи — характеристика, отражающая процесс изменения выходного сигнала сложной электрической цепи, составленной из интегрирующих, дифференцирующих, пропорциональных и прочих звеньев, при изменении сигнала на ее входе.

На практике использование отдельных типовых звеньев системы автоматического регулирования встречается довольно редко. Реальные системы состоят из совокупности нескольких типовых звеньев, включенных последовательно-параллельно и параллельно-последовательно. В результате такого соединения удается получить схему с любой переходной характеристикой. В замкнутых системах автоматического регулирования соединенные последовательно типовые звенья или их комбинации охватываются обратной связью, что также приводит к изменению переходной характеристики.

Переходное сопротивление. Данный термин используется при характеристике сопротивления изоляторов, которое может шунтироваться слоем грязи и пыли на поверхности изолятора, обладающим некоторым сопротивлением.

В результате загрязнения поверхности изолятора на ней возникают локальные искровые разряды, переходящие иногда в дуговые

разряды, вследствие чего изолятор утрачивает свои качества несмотря на отсутствие электрических и механических повреждений.

Переходное сопротивление контактов — омическое сопротивление между рабочими поверхностями подвижных и неподвижных замкнутых контактных элементов.

Вследствие шероховатости рабочих поверхностей контактных элементов их соприкосновение происходит не по всей площади, а лишь на некоторой ее части, что приводит к увеличению переходного сопротивления и к локальному перегреву точек соприкосновения контактных элементов. Указанный недостаток усугубляется при отклонении геометрии контактных элементов, их загрязнении, окислении, обгорании и оплавлении. В последнем случае происходит деформация рабочей поверхности контактных элементов. Переходное сопротивление увеличивается также при снижении прижимного усилия между контактными элементами. Понятие переходного сопротивления распространяется также на контактные соединения, выполненные посредством пайки или сварки.

Переходный процесс — неустановившийся электромагнитный процесс, возникающий при коммутации или коротком замыкании в электрических приборах и аппаратах и приводящий к нарушению установившегося режима работы.

Переходный процесс наиболее сильно проявляется при коммутации индуктивных (дросселей, ненагруженных трансформаторов) и емкостных (конденсаторных батарей, электрических кабелей большой протяженности) электрических цепей, а также смешанных цепей с индуктивными и емкостными нагрузками. В последнем случае процесс усиливается из-за резонансных эффектов. В переходном процессе токи и напряжения могут многократно превышать установившиеся значения, в результате чего имеет место перегрев и повреждение электрической изоляции.

Переходные процессы в электрической машине — электромагнитные, тепловые и механические процессы в электрической машине, возникающие при внезапном изменении ее установившегося состояния, а также при включении и отключении коммутационной аппаратуры.

Коммутация электрических аппаратов сопровождается бросками тока и напряжения в питающей сети и в нагрузке. Целью расчета переходных процессов является определение времени отключения коммутационного аппарата, значений импульсов тока и перенапряжений и параметров резонансных процессов. Для визуального анализа переходных процессов используется осциллограф. При включении коммутационного аппарата переходный процесс считается законченным в момент прекращения дребезга контактов, при отключении — в момент гашения на контактах электрической дуги и восстановления электрической прочности промежутка между контактами. Если после гашения дуги ее горение возобновляется, переходный процесс считается незаконченным [8].

Пластина статора (пакет статора).

Плоский пусковой реостат (пусковой реостат).

Плотность тока — физическая величина, характеризующая распределение электрического тока по сечению проводника, через который он протекает.

Условное обозначение — j, единица измерения — А/м^2 или А/мм^2.

Плотность тока является одной из основных величин, значение которой позволяет выбрать сечение провода под известное значение тока без перегрева провода [1].

Плотность потока электрического смещения — физическая величина, отражающая характер распределения потока электрического смещения в электростатическом поле.

Условное обозначение — D, единица измерения — К/м^2:

$$D = \Psi / S.$$

В электрическом поле аналогичной величиной является плотность тока. В однородном электростатическом поле плотность потока электрического смещения является постоянной величиной, а в диэлектрике ее можно определить через напряженность E электростатического поля и коэффициент ε диэлектрической проницаемости [1]:

$$D = \varepsilon E.$$

Пневматический выключатель (силовой выключатель).

Пневматический привод — один из типов привода, используемого для включения и отключения силовых выключателей среднего и высокого напряжения, принцип действия которого основан на преобразовании энергии сжатого воздуха в механическую энергию.

Пневматический привод используется для непосредственного или дистанционного управления силовыми выключателями. Воздействие сжатого воздуха на механизм выключателя осуществляется через пневматический цилиндр, подача сжатого воздуха в который производится с помощью воздушного клапана. В указанных выключателях энергия сжатого воздуха используется также для гашения дуги на главных контактах. Пневмоприводы отличаются высоким быстродействием и надежностью. При повреждении пневматической системы выключатель может быть отключен посредством воздействия оператора на спусковой механизм.

Поворотный трансформатор (ПТ) — индукционный регулятор напряжения, изменение коэффициента связи между первичной и вторичной обмотками которого с целью регулирования напряжения осуществляется путем изменения их взаимного углового положения.

Принцип работы ПТ аналогичен принципу работы асинхронного двигателя. Обычно ПТ содержит статор, в пазах которого уложена вторичная обмотка; в пазах шихтованного ротора расположена первичная обмотка. Ротор ПТ заторможен и может поворачиваться в обе стороны на угол не менее 180° с фиксацией в любом промежуточном положении. Выводы обмотки ротора выполнены из гибких проводников и не должны препятствовать указанному повороту ротора, причем данный токосъем используется в маломощных ПТ. В мощных ПТ гальваническая связь обмотки ротора с внешней электрической цепью осуществляется через щетки и контактные кольца.

При подключении обмотки ротора к трехфазной сети переменного тока в обмотке статора наводится ЭДС. При изменении углового положения ротора относительно статора происходит фазовый сдвиг между напряжениями первичной и вторичной обмоток. При соединении обмоток по схеме автотрансформатора (рис. 110, *а*) ре-

зультирующее напряжение вторичной обмотки будет равно геометрической сумме напряжения первичной и ЭДС вторичной обмоток с учетом их коэффициента трансформации. При углах поворота β ротора, равных 180° и 0°, выходное напряжение ПТ будет принимать соответственно минимальное и максимальное значения. Согласно векторной диаграмме (рис. 110, *в*) концы векторов ЭДС E_2 и напряжения U_2 вторичной обмотки будут перемещаться по окружности. На практике ПТ называют также *регулятором переменного тока* [4].

Повторно-кратковременный режим работы — режим работы электрической вращающейся машины, при котором кратковременная неизменная нагрузка чередуется с отключениями машины, при-

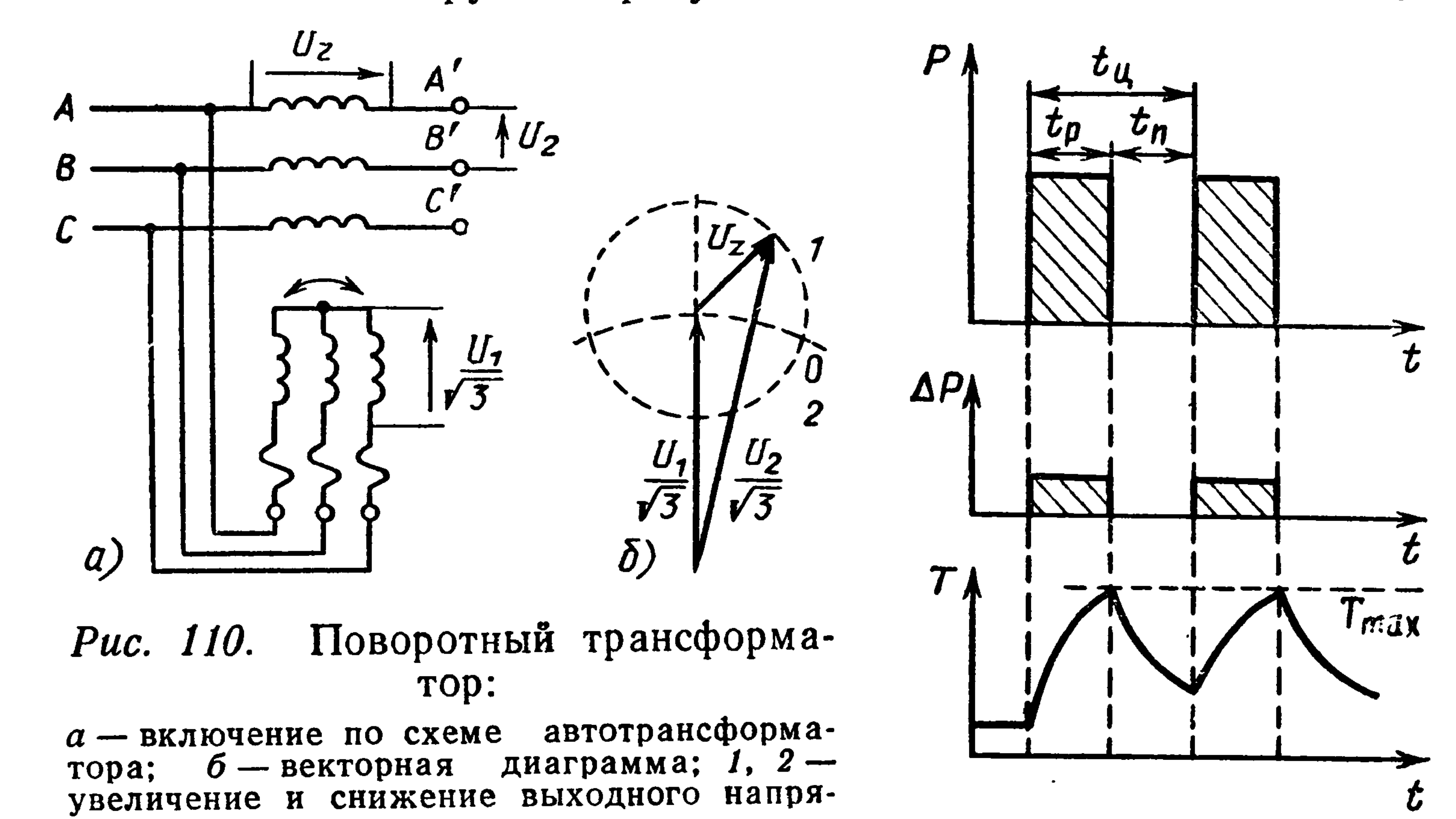


Рис. 110. Поворотный трансформатор:

а — включение по схеме автотрансформатора; *б* — векторная диаграмма; *1*, *2* — увеличение и снижение выходного напряжения

Рис. 111. Повторно-кратковременный режим работы:

$t_р$, $t_п$, $t_ц$ — соответственно время работы, паузы, цикла; *P* — мощность нагрузки; Δ*P* — мощность потерь; *T* — температура

чем во время нагрузки температура машины не достигает установившегося значения, а во время паузы машина не успевает охлаждаться до температуры окружающей среды (рис. 111).

Повторно-кратковременный режим работы с частыми пусками — повторно-кратковременный режим работы электрической машины, при котором пусковые потери оказывают существенное влияние на ее нагрев.

Повторно-кратковременный режим работы электрической вращающейся машины с частыми пусками и электрическим торможением — повторно-кратковременный режим работы электрической машины с частыми пусками, при котором для ее остановки применяется электрическое торможение и потери при пуске и торможении оказывают существенное влияние на ее нагрев.

Для всех вышерассмотренных разновидностей повторно-кратковременных режимов характерна общая особенность: за время работы двигателя его температура не достигает установившегося значения [8]

Погрешность измерения тока — погрешность измерительного трансформатора тока, которая возникает в результате частичного снижения тока во второй обмотке трансформатора из-за потерь на преобразование энергии в трансформаторе. Указанные потери состоят из потерь на перемагничивание стали и активных потерь в обмотке [6].

Погрешность преобразователя напряжения — параметр, отражающий отклонение выходного напряжения преобразователя напряжения от заданного значения:

$$\Delta U = \frac{kU_2 - U_1}{U_1} 100\%,$$

где k — коэффициент преобразования; U_2 — выходное (вторичное) напряжение; U_1 — входное (первичное) напряжение.

Из-за падения напряжения на внутреннем сопротивлении преобразователя напряжения его выходное напряжение изменяется не пропорционально изменению входного напряжения.

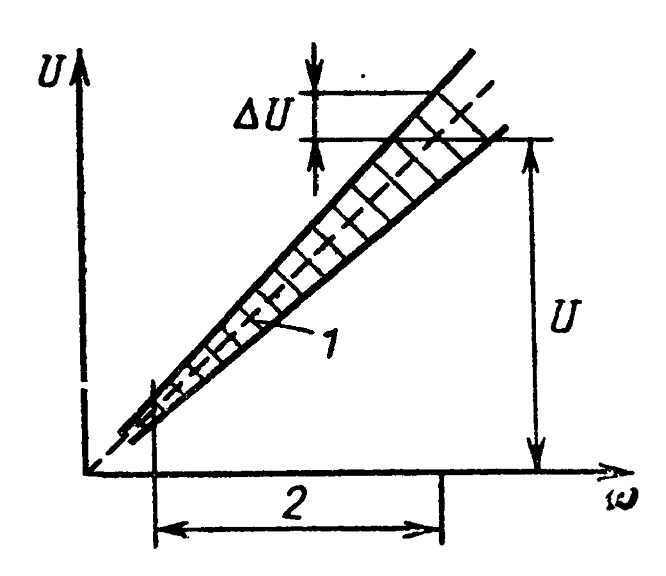


Рис. 112. Погрешность тахогенератора:

1 — область допустимого разброса; 2 — диапазон изменения выходного напряжения

Погрешность тахогенератора — отклонение выходного напряжения тахогенератора постоянного или переменного тока от значения, соответствующего заданному значению частоты вращения. Погрешность может быть определена как

$$\delta = \Delta U / U,$$

где U — значение напряжения, соответствующее заданному значению частоты вращения.

Для обычных тахогенераторов погрешность составляет около 5 % и их выходное напряжение практически линейно зависит от частоты вращения. Указанная погрешность обусловлена падением напряжения на обмотке от протекающего по ней тока и насыщением магнитной системы (рис. 112). Значение погрешности изменяется с увеличением частоты вращения тахогенератора.

Подшипник — конструктивный элемент вращающейся электрической машины, обеспечивающий свободное вращение вала относительно неподвижной части машины.

Подшипники служат для ориентации ротора электрической машины относительно статора и для передачи различных усилий, в том числе и электромагнитного вращающего момента от вала к производственному механизму. Указанные усилия имеют радиальную и аксиальную составляющие. Различают подшипники скольжения и качения. Выбор того или иного типа подшипника определяется

конструктивными особенностями, условиями эксплуатации, степенью защиты от внешних воздействий и требованиями к уровню шума электрической машины.

Подшипник качения (ПК) — тип подшипника, в котором между подвижным и неподвижным кольцами (обоймами) перекатываются стальные шарики или ролики.

Различают шариковые и роликовые ПК. Шариковые ПК, называемые иначе радиальными, используются при преобладании радиальных нагрузок, а роликовые ПК, называемые аксиальными, — при преобладании аксиальных нагрузок.

Срок службы ПК зависит от их конструктивных особенностей, условий эксплуатации и смазки. В настоящее время ресурс ПК до первого осмотра составляет 4000—8000 ч непрерывной работы. После этого ПК следует промыть бензином и смазать соответствующей смазкой. Полость ПК заполняется смазкой на $^2/_3$ своего объема, поскольку излишняя смазка может привести к перегреву и разрушению ПК. Преимущество ПК перед подшипниками скольжения заключается в меньшем расходе смазочного материала, высокой надежности, минимальных эксплуатационных расходах и легкости замены.

Подшипник скольжения (ПС), установленный между вращающимся валом и корпусом — конструктивный элемент электрической машины, работа которого основана на использовании трения скольжения.

Небольшие ПС изготовляются из сплава графита и бронзы, и к ним предъявляются жесткие требования по допусковому разбросу размеров. Они не требуют ухода и обладают низким уровнем шума. Эти ПС используются в электрических микромашинах. Крупные ПС изготовляются из сплава бронзы с цинком или оловом. Конструктивно они часто выполняются в виде буксы, заливаемой тем или иным сплавом. В крупных ПС смазка обеспечивается через специальные отверстия вала машины с использованием масляных камер. В этом случае уже в процессе разгона электрической машины между рабочей поверхностью ПС и поверхностью вала образуется тонкая масляная пленка, снижающая трение скольжения и износ ПС. По специальным дренажным отверстиям отработанное масло вновь поступает в масляную камеру и т. д. В мощных электрических машинах система смазки ПС работает при избыточном давлении с последующей очисткой и охлаждением отработанного масла. В таких машинах ПС является одним из наиболее ответственных узлов, вследствие чего производится контроль его температуры с аварийным отключением электрической машины при недопустимом увеличении температуры. Обычно ПС используются в электрических машинах с горизонтальным и вертикальным расположением вала. Основное преимущество ПС заключается в их высокой перегрузочной способности и малом уровне шума (рис. 113).

Подшипниковый щит (опора подшипника).

Пожар стали (свойства измерительных трансформаторов).

Полная мощность — мощность, потребляемая нагрузкой переменного тока, составленной из активного сопротивления, индуктивности и емкости.

Условное обозначение — S, единица измерения — В·А. Полная мощность может быть определена из выражения

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ или } S = UI,$$

где P — активная мощность; Q — реактивная мощность; U — переменное напряжение; I — переменный ток.

Полная мощность складывается из геометрической суммы активной и реактивной мощностей.

Полное время включения — интервал времени с момента подачи команды на включение коммутационного аппарата до момента появления заданных условий для прохождения тока в его главной цепи (рис. 114).

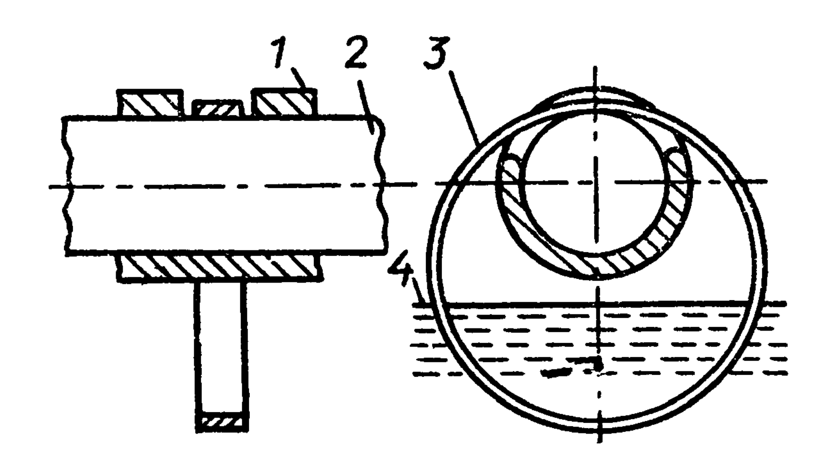


Рис. 113. Подшипник скольжения:

1 — обойма; 2 — вал; 3 — смазочное кольцо; 4 — масляная камера

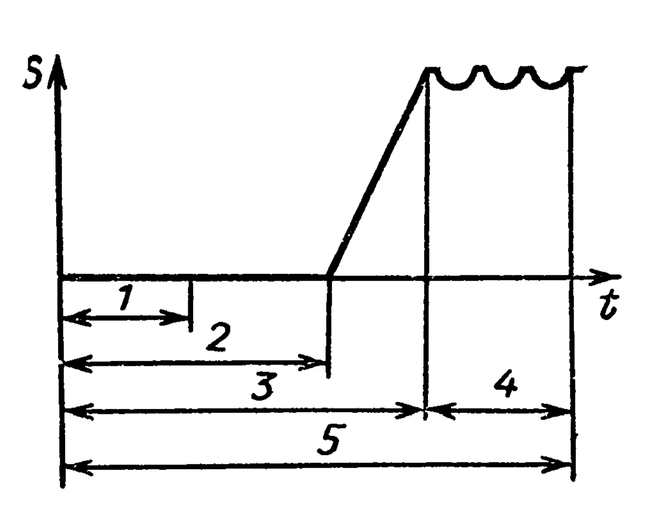


Рис. 114. Полное время включения:

1 — время нарастания тока в катушке; 2 — время начала движения; 3 — время движения; 4 — время дребезга контактов; 5 — полное время включения; S — ход механизма

В полное время включения входят время срабатывания электромеханического или иного привода коммутационного аппарата и время, по истечении которого контакты начинают движение. Из-за электрической и механической инерционности частей коммутационного аппарата первое соприкосновение контактов происходит с некоторым запаздыванием. К тому же полное время включает в себя интервал времени, в течение которого происходит дребезг контактов, обусловленный упругим механическим ударом подвижной и неподвижной частей коммутационного аппарата и потенциальной энергией, запасенной в возвратной пружине. В результате тщательной конструктивной проработки механической части коммутационного аппарата и выбора соответствующих конструкционных материалов удается значительно уменьшить время включения. Увеличение тягового усилия, развиваемого приводом коммутационного аппарата, позволяет уменьшить время включения, но при этом увеличиваются механические перенапряжения в конструктивных элементах и усиливается дребезг контактов. В многополюсных коммутационных аппаратах время включения для разных полюсов может быть различным [6].

Полное время отключения — интервал времени с момента подачи команды на отключение коммутационного аппарата до момента прекращения тока во всех полюсах аппарата (рис. 115).

Полное время отключения складывается из времени снижения тока в катушке электромагнита и времени движения механизма коммутационного аппарата в положение, при котором происходит разрыв контактов. Собственное время отключения коммутационного аппарата представляет собой интервал времени с момента подачи команды на отключение до момента прекращения соприкосновения контактов. После размыкания контактов процесс отключения считается законченным в том случае, если на контактах не возникает электрическая дуга. В противном случае процесс заканчивается после прекращения горения дуги. В этом случае подвижный контакт находится, как правило, либо в процессе движения, либо в крайнем неподвижном положении. Задержка отключения и время горения дуги входят в полное время отключения [5].

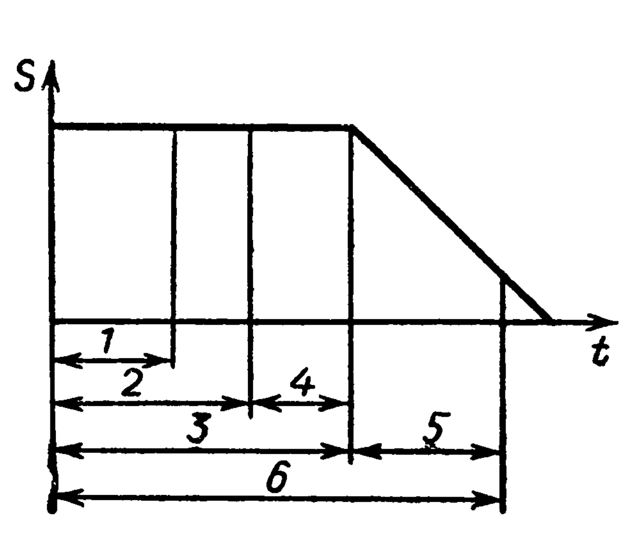


Рис. 115. Полное время отключения:
1 — время снижения тока в катушке; *2* — время разрыва контактов; *3* — время задержки отключения; *4* — собственное время отключения; *5* — время горения дуги; *6* — полное время отключения; *S* — величина хода механизма

Полное сопротивление нагрузки — сопротивление нагрузки вторичной обмотки измерительного трансформатора тока или вторичной обмотки измерительного трансформатора напряжения вместе с подключенными к ней приборами и соединительными проводами [6].

Полное электрическое сопротивление — параметр электрической цепи или ее схемы, равный отношению действующего напряжения на зажимах пассивной электрической цепи к действующему току на входе этой цепи при синусоидальных напряжении и токе.

Условное обозначение — z, единица измерения — Ом. Полное электрическое сопротивление определяется по формуле

$$z = U/I,$$

где U, I — действующие значения соответственно напряжения и тока, или как геометрическая сумма активного R, индуктивного x_L и емкостного x_C сопротивлений:

$$z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}.$$

В электрических цепях с комплексным сопротивлением R, x_L или x_C возникает фазовое рассогласование между током и напряжением. Если $x_L > x_C$, то ток отстает по фазе от напряжения, если $x_L < x_C$, то ток опережает напряжение по фазе. При $x_L = x_C$ ток совпадает по фазе с напряжением, т. е. имеет только активную составляющую.

Полный ток — ток, потребляемый нагрузкой переменного тока, составленной из активного сопротивления, индуктивности и емкости.

Полный ток определяется как геометрическая сумма активного и реактивного токов. Активный ток совпадает по фазе с напряже-

нием и обозначается как $I_а$. Произведение значения активного тока и действующего значения напряжения соответствует активной мощности: $P=UI_а$. Реактивная составляющая полного тока сдвинута по фазе относительно напряжения на электрический угол 90°. При емкостном характере нагрузки реактивный ток $I_р$ опережает по фазе напряжение, при индуктивном отстает от него. Реактивная мощность равна $Q=UI_р$. Полный ток в нагрузке переменного тока равен

$$I_п=\sqrt{I_а^2+I_р^2}.$$

Взаимное положение векторов полного тока и напряжения определяется с помощью угла φ сдвига фаз. Составляющие тока определяются из выражений $I_а=I_п \cos \varphi$, $I_р=I_п \sin \varphi$.

Полупроводник (ПП) — вещество, основным свойством которого является зависимость его электропроводности от воздействия внешних факторов. К внешним факторам можно отнести температуру, электрическое поле, свет и т. п.

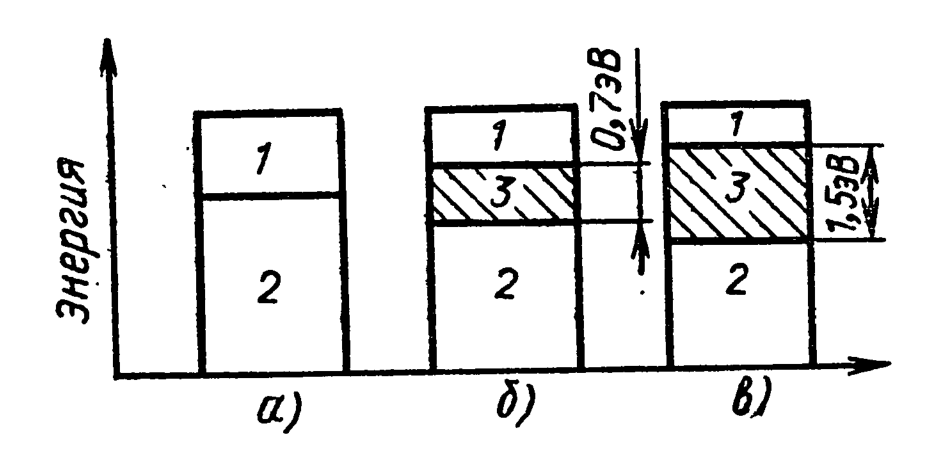


Рис. 116. Полупроводник:
а — металл (проводник); *б* — полупроводник; *в* — изолятор; проводящая (*1*), валентная (*2*) и запретная (*3*) зоны

Обычно ПП могут находиться в твердом и жидком состояниях и занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Удельное сопротивление ПП при комнатной температуре лежит в пределах от 10^{-4} до 10^{10} Ом·см. Процессы, протекающие в ПП, подчиняются законам квантовой механики. В соответствии с ними электрон в ПП может достигнуть только вполне определенного энергетического уровня, т. е. обладает конкретным запасом энергии. По этой причине для него существует некоторая запретная зона, которую он не в состоянии преодолеть без внешней помощи. На рис. 116 приведены энергетические диаграммы для проводника, ПП и диэлектрика, из которых следует, что проводник не имеет запретной зоны, а у диэлектрика эта зона значительна. По этой причине проводники беспрепятственно пропускают электрический ток в обоих направлениях. В ПП электрический ток передается посредством свободных электронов, преодолевающих запретную зону, но их количество незначительно. Если, например, увеличить температуру ПП, то в нем появляются дополнительные электроны, освободившиеся от своих молекулярных связей, т. е. образуются так называемые «дырки». В соответствии с типом ПП и полярностью приложенного к нему напряжения в теле ПП наблюдается движение через запретную зону свободных электронов или «дырок». В этих случаях говорят, что ПП имеет электронную или «дырочную» проводимость. При незначительной добавке в химически чистый ПП примеси другого вещества можно увеличить способность ПП к образованию носителей электрических зарядов. К важнейшим ПП относятся германий, кремний, графит, индий [1].

Полюс магнита — участок постоянного магнита с максимальным значением индукции.

В области полюса наиболее заметно проявляется силовое действие магнитного поля на ферромагнитные материалы. Различают северный и южный полюсы. Одноименные полюсы магнита отталкиваются, разноименные притягиваются.

Полюсное деление — расстояние между осями разноименных полюсов в электрической машине, которое выражается в градусах (рис. 117).

Полюсная обмотка — сосредоточенная или распределенная обмотка, подключаемая к источнику постоянного тока и используемая для создания потока возбуждения в электрических машинах постоянного и переменного тока.

В машинах постоянного тока, в том числе и в одноякорных преобразователях постоянного тока, а также в явнополюсных синхронных машинах полюсная обмотка располагается на массивных или

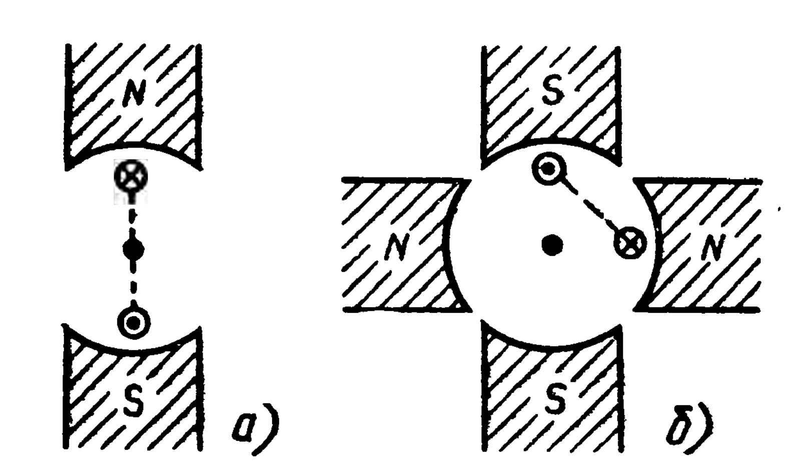


Рис. 117. Полюсное деление:
а — двухполюсная и *б* — четырехполюсная конструкции машины

шихтованных полюсах, устанавливаемых как на статоре, так и на роторе. В синхронных машинах используются явнополюсные и неявнополюсные магнитопроводы соответственно с сосредоточенной и распределенной обмотками. В машинах постоянного тока помимо главных полюсов имеются дополнительные полюсы, ширина которых меньше ширины главных полюсов. На главных полюсах располагаются параллельная обмотка возбуждения с большим количеством витков и малым сечением провода, последовательная обмотка возбуждения с малым количеством витков и большим сечением провода, а также одновременно обе указанные обмотки (при смешанном возбуждении). На дополнительных полюсах располагается компенсационная обмотка, содержащая небольшое количество витков провода с большим сечением. Компенсационные обмотки используются в машинах постоянного тока относительно большой мощности и часто изготовляются по типу стержневых обмоток, которые могут укладываться в пазы, выполненные на поверхности башмаков главных полюсов. Компенсационные обмотки включаются последовательно с обмоткой якоря и позволяют улучшить процесс коммутации в щеточно-коллекторном узле. Благодаря этому снижаются искрение и дугообразование на коллекторе.

Полюсный башмак (индуктор электрической машины).

Пониженное напряжение — напряжение, значение которого для постоянного тока не превышает 120 В и для переменного тока — 50 В. Такое напряжение используется в электроинструментах с целью повышения электробезопасности при непрямом прикосновении

к токоведущим частям. В сырых и тесных помещениях для электроинструмента, светильников и прочего электрооборудования пониженное напряжение является обязательным.

В сетях с пониженным напряжением заземляющий провод не используется. При наличии штекеров следует принимать меры к тому, чтобы штекеры более высокого напряжения не подходили к штекерам пониженного напряжения.

Поперечное поле якоря (реакция якоря).

Последовательное возбуждение — один из основных способов возбуждения электрических машин постоянного тока, реализуемый посредством последовательного включения обмоток якоря и возбуждения. При этом через обмотки возбуждения и якоря протекает один и тот же ток, вследствие чего первая из них выполняется с малым количеством витков из провода большого сечения.

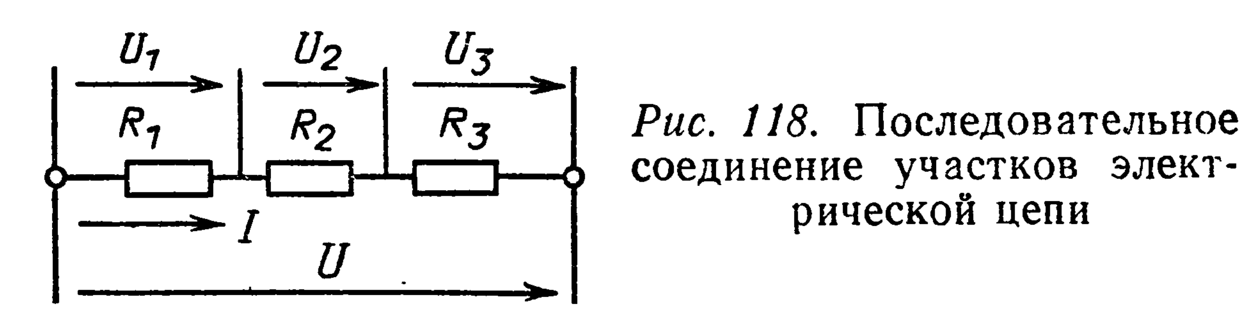


Рис. 118. Последовательное соединение участков электрической цепи

Последовательное соединение участков электрической цепи — соединение, при котором через все участки цепи проходит один и тот же ток.

При последовательном соединении, например, резисторов (рис. 118) полное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений резисторов

$$R_\Sigma = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

и всегда больше по значению сопротивления любого резистора. Приложенное к резисторам напряжение распределяется между ними в соответствии со значением их сопротивления и может быть определено из соотношений

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{или} \quad \frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R_\Sigma}$$

Электрические цепи, составленные из соединенных последовательно элементов (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности), часто используются в качестве делителей напряжения.

Последовательность чередования полюсов — порядок расположения главных и дополнительных полюсов на статоре машины постоянного тока.

В двигателе постоянного тока по направлению вращения якоря за главным полюсом следует одноименный (северный или южный) дополнительный полюс. В генераторах постоянного тока, наоборот, за главным полюсом следует добавочный полюс противоположной полярности.

Последовательный элемент (схема замещения трансформатора).

Постоянная времени — интервал времени, отсчитываемый с момента подачи на вход пропорционального звена входного импульсного сигнала (тестового) до момента появления сигнала на его вы-

ходе. Постоянная времени характеризует реакцию элементов автоматики на скачкообразное изменение входного сигнала, т. е. быстродействие указанных элементов (рис. 119). Под постоянной времени понимают интервал времени от момента увеличения выходного сигнала до момента времени, в который выходной сигнал достигает 63 % установившегося значения. Указанному интервалу времени предшествуют интервал нечувствительности и интервал запаздывания.

Постоянная времени электрической цепи — величина, характеризующая электрическую цепь, в которой свободный ток является экспоненциальной функцией времени, и равная интервалу времени, в течение которого ток в этой цепи убывает (возрастает) в е раз, где е — основание натурального логарифма.

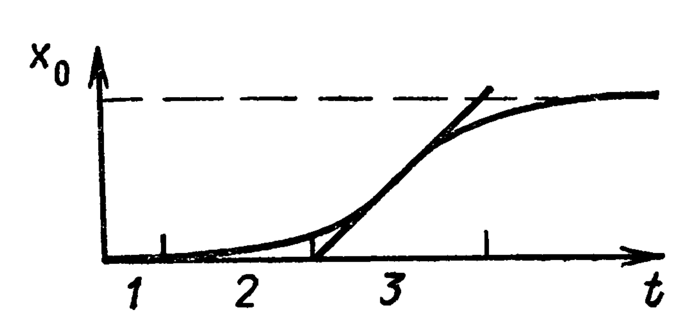


Рис. 119. Постоянная времени:

1 — зона нечувствительности; *2* — интервал запаздывания; *3* — постоянная времени

В системах автоматического управления постоянная времени позволяет оценить время задержки полезного сигнала при прохождении его через элементы системы. При подаче на ее вход импульсного сигнала постоянная времени соответствует интервалу времени, отсчитанному от переднего фронта импульса до момента времени, когда выходной сигнал достигает 0,63 установившегося значения [1].

Постоянная индукции (магнитная проницаемость).

Постоянное магнитное поле — магнитное поле с неизменяющимися индукцией, формой и положением, которое образуется при питании катушки постоянным током [1].

Постоянный магнит — деталь, изготовленная из ферромагнитного материала и намагниченная в мощном внешнем магнитном поле; магнитное действие детали сохраняется благодаря остаточному намагничиванию.

Постоянные магниты изготовляются из легированных сталей (вольфрам, хром) и специальных сплавов (например, альнико — сплав из алюминия, никеля, кобальта, стали). Особенно высоким значением остаточного намагничивания обладают ферромагнитные материалы, изготовляемые из порошка окисей железа и бария и из редкоземельных металлов. Постоянные магниты широко используются в электрических машинах для создания потока возбуждения.

Постоянный момент сопротивления — момент сопротивления, создаваемый нагрузкой на валу электродвигателя, значение которого не зависит от частоты вращения.

К механизмам, имеющим постоянный момент сопротивления, относятся в первую очередь различного типа грузоподъемные механизмы. При увеличении частоты вращения двигателя в этом случае имеет место линейное увеличение потребляемой им мощности.

Потенциал — напряжение, существующее между двумя произвольно выбранными точками.

При определении потенциала какой-либо точки в качестве второй, базовой точки часто принимается потенциал земли, приравниваемый к нулю. Имеющаяся между двумя любыми точками электрической схемы разность потенциалов называется напряжением между этими точками [1].

Потери в обмотках (потери короткого замыкания).

Потери в стали (потери холостого хода трансформатора).

Потери короткого замыкания — мощность, рассеиваемая в обмотках трансформатора в режиме КЗ и являющаяся причиной их нагрева.

Потери определяются значениями активного сопротивления первичной и вторичной обмоток и значениями протекающих через них токов. Так, для первичной обмотки потери КЗ могут быть определены из выражения $P_{1к}=1{,}24I_1^2R_1$. Аналогичное выражение справедливо и для вторичной обмотки. С помощью коэффициента, численное значение которого равно 1,24, учитывается увеличение активного сопротивления, обусловленное нагревом обмоток. Потери определяются посредством опыта КЗ.

Потери на вихревые токи (вихревой ток).

Потери на гистерезис (потери холостого хода трансформатора).

Потери холостого хода трансформатора — потери в магнитной системе трансформатора, обусловленные ее перемагничиванием и вихревыми токами.

Затраты мощности на перемагничивание (или гистерезис) и вихревые токи магнитной системы приводят к снижению КПД трансформатора. Потери холостого хода определяются качеством изготовления магнитной системы и качеством используемой для этой цели электротехнической стали и находятся в квадратичной зависимости от индукции и в линейной зависимости от массы магнитной системы.

Поток электрического смещения — физическая величина, характеризующая способность вещества к смещению электрических зарядов в электростатическом поле.

Условное обозначение — Ψ, единица измерения — кулон (К). Поток электрического смещения аналогичен силе тока в электрическом поле [1].

Правило левой руки — правило определения направления механической силы, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле.

Если расположить левую руку таким образом, что силовые линии магнитного поля будут входить в ладонь, а вытянутые пальцы направить по току, то отогнутый большой палец покажет направление действующей силы. Векторы силовых линий, тока и силы расположены под углом 90°.

Правило минимизации — одно из правил преобразования логических схем с целью оптимизации количества используемых в них логических элементов.

В сложных логических схемах реализация любой логической функции осуществляется с помощью совокупности элементарных логических элементов типа И, ИЛИ, ИЛИ-НЕ и т. д. При первоначальном состоянии логической схемы часто имеет место некоторая избыточность используемых элементов, которая может быть устранена посредством правил *булевой алгебры*. При этом следует стремиться

к тому, чтобы логическая схема по возможности содержала только однотипные логические элементы.

Правило правой руки — правило определения направления силовых линий электромагнитного поля, создаваемого проводником с током.

В соответствии с правилом правой руки проводник с током охватывают четырьмя пальцами таким образом, чтобы большой палец, расположенный вдоль проводника, указывал направление протекающего через проводник тока. При этом четыре пальца будут указывать направление силовых линий электромагнитного поля, концентрически замыкающихся вокруг проводника. С аналогичной целью используется правило буравчика.

Правило правой руки может быть использовано также для определения направления силовых линий электромагнитного поля, создаваемого внутри обмотки с током. При этом четыре пальца располагаются в соответствии с направлением тока, а отогнутый большой палец указывает направление силовых линий и местонахождение северного полюса.

Правило правоходового винта — правило определения направления ЭДС, наведенной в проводнике, движущемся в магнитном поле.

Если закручивать правоходовой винт так, что его острие будет двигаться по направлению силовых магнитных линий при возрастании потока, то положительное направление ЭДС будет совпадать с направлением вращения головки этого винта.

Направление ЭДС может быть определено также с помощью правила правой руки. Если расположить правую руку таким образом, что магнитная индукция входит в ладонь, а отогнутый большой палец направить по нормальной составляющей скорости проводника, то возникающая в проводнике ЭДС совпадает с направлением четырех остальных вытянутых пальцев правой руки.

Правоходовая петлевая обмотка (обмотка петлевая).

Предельно допустимое напряжение — максимально допустимое для данного класса изоляции значение напряжения, при котором еще сохраняется ее электрическая прочность, т. е. отсутствует пробой или перекрытие слоя изоляции.

Предельное количество пусков — количество пусков электропривода, в каждом из которых длительность включенного состояния двигателя вдвое меньше длительности отключенного состояния, а температура двигателя достигает предельно допустимого значения.

Предельный динамический ток — максимально допустимое значение тока измерительных трансформаторов, коммутационных аппаратов и электрических машин, при котором сохраняется их механическая устойчивость.

В измерительных трансформаторах тока при бросках тока в первичной обмотке возникают значительные электродинамические усилия вследствие закорачивания вторичной обмотки. Указанные усилия могут вызывать механические повреждения, что является причиной ограничения максимально допустимого значения тока, которое примерно в 2,5 раза превышает предельный тепловой ток.

Предельный тепловой ток — максимально допустимое значение тока измерительных трансформаторов, коммутационных аппаратов и электрических машин, при котором сохраняется их термическая устойчивость.

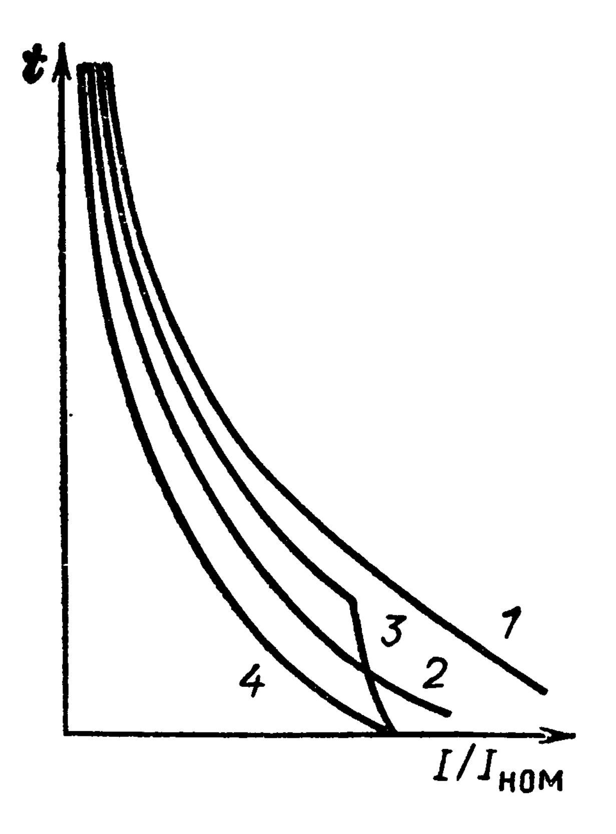


Рис. 120. Предохранитель:

1 — зависимость тока в защищаемой цепи от времени; время-токовые характеристики быстродействующего (2), повышенного быстродействия (3) и сверхбыстродействующего (4) предохранителей

В измерительных трансформаторах тока при возникновении коротких замыканий в контролируемой силовой цепи происходит значительное увеличение тока во вторичной обмотке, что приводит к ее перегреву за время, не превышающее 1 с. При заданном времени срабатывания защиты от коротких замыканий предельный тепловой ток можно определить из выражения $I_{пр}=I_{к}t$, где $t_{к}$ — ток короткого замыкания, кА, t — время срабатывания защиты, с. Ввиду того что ток короткого замыкания во вторичной обмотке трансформатора тока в сотни раз превышает номинальное значение тока, сопротивление нагрузки во вторичной обмотке должно быть не менее 25 % номинального сопротивления.

Предохранитель (П) — коммутационный электрический аппарат, предназначенный для отключения защищаемой цепи посредством разрушения специально предусмотренных для этого токоведущих частей под действием тока, превышающего определенное значение.

Корпус П выполнен из керамической или фарфоровой трубки, заполненной кварцевым песком, и внутри трубки расположена плавкая вставка. При протекании через П тока перегрузки или тока короткого замыкания происходит сильный нагрев и расплавление плавкой вставки, что приводит к разрыву защищаемой электрической цепи. Время разрушения плавкой вставки зависит от ее сечения и от значения протекающего через нее тока. Некоторые П имеют на корпусе цветную маркированную пластину, указывающую, на какой номинальный ток рассчитан данный П. При срабатывании П указанная пластинка изменяет свое положение, что облегчает визуальный контроль состояния П. Мощные П используются в промышленности, в системах производства и распределения электроэнергии. Практически любая конструкция П предусматривает быструю замену перегоревшей плавкой вставки. В настоящее время изготовляются П с номинальным значением тока до 200 А [5].

Обычно П высокого напряжения отличаются различной длиной корпуса, зависящей от значения рабочего напряжения. Они также снабжаются сигнальными элементами, позволяющими визуально определять их срабатывание.

Основной характеристикой, отражающей коммутационную способность П, является время-токовая характеристика, позволяющая определить время разрушения плавкой вставки в зависимости от значения протекающего через нее тока нагрузки (рис. 120). Быстродействующие П используются для защиты полупроводниковых приборов и имеют круто падающую время-токовую характеристику (рис. 120). Предназначенные для защиты электродвигателей П имеют пологую время-токовую характеристику, поскольку они должны

выдерживать воздействие пускового тока. Быстродействующие П обеспечивают отключение защищаемой цепи до достижения током нагрузки максимального значения.

Преобразователь для измерения тока утечки — преобразователь тока, используемый в мощных автоматах защиты цепей высокого напряжения от повреждения изоляции. Основными его элементами являются электромагнитный преобразователь с четырьмя вторичными обмотками, суммирующий преобразователь и блок защиты, с помощью которого регулируется уставка срабатывания автомата защиты.

Преобразователь числа фаз — вращающаяся электрическая машина, выполненная на базе генератора и двигателя или одноякорного преобразователя и предназначенная для преобразования переменного тока с одним числом фаз в переменный ток с другим числом фаз, многофазного переменного тока в постоянный ток и постоянного тока в многофазный переменный [2].

Приведение сопротивления — математическое преобразование, целью которого является определение соответствия между сопротивлениями первичной и вторичной обмоток трансформатора.

Отношение комплексных сопротивлений первичной и вторичной обмоток трансформатора пропорционально квадрату отношения числа витков первичной и вторичной обмоток, т. е.

$$z_1/z_2 = (w_1/w_2)^2.$$

Сопротивление вторичной обмотки, пересчитанное к цепи первичной обмотки, можно определить из соотношения

$$z_1 = z_2\,(w_1/w_2)^2.$$

Приведенный момент — расчетное значение момента нагрузки, получаемое с учетом частоты вращения и характера ее перемещения по отношению к валу электродвигательного устройства электропривода.

Приведение момента нагрузки к валу электродвигателя позволяет определить действительное значение момента сопротивления, создаваемого нагрузкой. Кроме того, для решения задач динамики электропривода необходимо также знать приведенный момент инерции всех маховых масс, участвующих в механическом преобразовании вращательного движения электродвигателя в соответствующее перемещение рабочего органа производственного механизма. В основе приведения момента нагрузки лежит взаимосвязь между частотой вращения и моментом при одной и той же мощности электропривода, в соответствии с которой чем больше частота вращения, тем меньше момент и наоборот. Приведенный момент инерции пропорционален квадрату отношения частот вращения рабочего органа и вала электродвигателя. Кроме того, производится учет КПД передаточного устройства. В случае преобразования вращательного движения в поступательное, например в поршневых насосах, приведенный момент определяется через силу, создаваемую поршнем, линейную скорость перемещения и массу поршня.

Привод силового выключателя — механическая или электромеханическая часть силового выключателя высокого и низкого напряжения, предназначенная для перемещения подвижных контактов.

Наиболее распространенным типом является ручной привод. Для силовых выключателей большой мощности широко используются пневматические, магнитные и пружинные приводы. Привод опреде-

ляет такие важнейшие параметры силового выключателя, как время дугогашения, включения и отключения. Для управления приводом используется энергия сжатого воздуха или энергия постоянного и переменного тока.

Приемочные испытания — разновидность испытаний электрических машин на соответствие требованиям ГОСТ, ТУ и т. п.

По экономическим соображениям приемочные испытания проводятся в ограниченном по сравнению с типовыми испытаниями объеме и имеют своей целью определение основных характеристик машин одной серии. При проведении их предполагается, что отклонение характеристик активных материалов и допустимый разброс геометрических размеров конструкции не оказывают существенного влияния на выходные характеристики любой электрической машины данной серии.

Принудительное охлаждение — один из способов охлаждения электрических вращающихся машин, при котором к активным частям машины постоянно подается охлажденный теплоноситель (воздух или вода).

Принцип генерирования характеризует процесс преобразования механической энергии в электрическую во вращающихся электрических машинах и основан на явлении электромагнитной индукции.

В соответствии с законом электромагнитной индукции при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего какой-либо контур, независимо от того, чем вызвано изменение потока, в контуре наводится ЭДС. На практике наиболее удобным оказывается вращательное движение проводников обмотки электрического генератора в постоянном магнитном поле, создаваемом обмоткой возбуждения. В этом случае напряжение на выводах обмотки якоря генератора определяется в соответствии с уравнением

$$U = c\Phi\omega,$$

где c — коэффициент, зависящий от конструктивных параметров генератора (числа пар полюсов и параметров обмотки); Φ — магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения; ω — частота вращения ротора генератора.

Полярность индуцированного напряжения определяется в соответствии с правилом правой руки.

Принцип действия электрической машины — совокупность физических процессов, на которых основана работа электрической машины, во многом зависящая от ее конструктивных особенностей.

Принцип деления напряжения — принцип, в соответствии с которым происходит перераспределение напряжений между последовательно соединенными участками электрической цепи. При последовательном соединении резисторов справедливо следующее соотношение:

$$U_1 : U_2 = R_1 : R_2,$$

т. е. большему по значению сопротивления резистору соответствует большее падение напряжения.

Принцип работы электродвигателя основан на силовом взаимодействии электромагнитного поля и проводника с током. В электрической вращающейся машине постоянного тока проводник перемещается в магнитном поле вместе с ротором, последовательно проходя под разноименными полюсами. Для сохранения знака вращающего момента при входе проводника в зону с обратным на-

правлением магнитного потока возбуждения необходимо изменить направление тока в проводнике. В общем случае вращающий момент электродвигателя прямо пропорционален значениям потока Ф, тока I и электромашинной постоянной $c_М$, т. е. $M=c_М ФI$. Направление вращения электродвигателя определяется в соответствии с правилом левой руки.

Принципиальная электрическая схема — графическое отображение элементов электротехнического устройства и соединений между этими элементами.

На принципиальных схемах основные элементы представляются с помощью условных обозначений: резисторы — прямоугольниками, индуктивности — катушками, реле — обмотками с контактами и т. д. При изображении руководствуются непременным правилом — все элементы представляются в обесточенном состоянии и на них не воздействуют никакие внешние, неэлектрические возмущения (механические усилия, давление, свет и т. д.). Принципиальная схема позволяет получить полное представление о выполнении и принципе действия устройства. Для облегчения чтения схем используются буквенно-цифровые обозначения типа R_1, R_2, L_1, L_2, C_1, C_2, C_3 и т. д.

Пробивное напряжение — максимально допустимое напряжение, которое может выдержать электроизоляционный материал без утери электрической прочности. Значение пробивного напряжения определяется толщиной, влажностью, температурой и структурой электроизоляционного материала.

Значения пробивного напряжения некоторых электроизоляционных материалов:

Электроизоляционный материал	Относительное значение пробивного напряжения, кВ/мм
Воздух (20 °С)	3,3
Бумага	10
Картон	15
Фарфор	15
Бумага, пропитанная лаком	100

В том случае, если напряжение на электроизоляционном материале несколько превышает пробивное, на его поверхности возникают локальные разряды. При дальнейшем увеличении напряжения происходит электрический пробой электроизоляционного материала. С этого момента указанный материал теряет диэлектрические свойства, поскольку после пробоя происходит ударная ионизация среды в месте пробоя, обусловленная интенсивным газообразованием и выделением тепла.

Проверка схемы и группы соединения обмотки трансформатора. Указанная проверка в основном проводится визуально и сводится к следующему:

определить направление намотки обмоток высшего и среднего напряжений и установить соответствие группы соединения обмоток ГОСТ;

произвести измерение линейного напряжения на обмотке низшего напряжения проверяемого трансформатора и сравнить полученный результат с результатом измерения на той же обмотке идентичного трансформатора, подключенного к питающей сети;

проверить фазовый сдвиг между напряжениями обмоток трансформатора с помощью осциллоскопа.

Аналогичные результаты могут быть получены при использовании компенсационного метода измерения с помощью измерительного моста.

Программно-временной задатчик — один из основных элементов системы автоматического регулирования, выходной сигнал которого изменяется в функции времени по заданному закону. Он широко используется при управлении процессами термической обработки металлов и их сплавов. С его помощью устанавливается скорость увеличения и снижения температуры в электрической печи. Программно-временной задатчик используется также в тех случаях, когда работа объекта регулирования имеет циклический характер в течение части или нескольких суток.

Продолжительность дребезга контактов (дребезг контактов).

Продолжительный режим работы — режим работы электрической вращающейся машины при постоянной нагрузке, продолжающийся не менее, чем необходимо для достижения установившейся температуры при неизменной температуре окружающей среды [8].

Продольная реакция якоря (машина постоянного тока поперечного поля) — реакция якоря электрической вращающейся машины, образуемая составляющей намагничивающей силы обмотки якоря, создающей магнитный поток, направленный по продольной оси полюсов.

Промежуточный ротор двигателя (двигатель с двойным ротором).

Пропорциональное звено — один из основных элементов системы автоматического регулирования.

Сигнал на выходе звена соответствует входному сигналу, вследствие чего скачкообразному изменению входного сигнала соответствует аналогичное изменение выходного сигнала. Звено практически без задержки пропускает входной сигнал и используется в указанных системах наиболее широко. Часто пропорциональное звено включается в комбинации с дифференцирующим и (или) интегрирующим звеньями с целью получения требуемой передаточной функции.

Противо-ЭДС возникает в обмотке якоря вращающейся электрической машины постоянного тока и направлена встречно напряжению питания.

При постоянном по значению потоке возбуждения машины значение противо-ЭДС пропорционально частоте вращения ротора. Если, например, под действием увеличившейся на валу двигателя постоянного тока нагрузки снизится его частота вращения, то уменьшится значение противо-ЭДС, а следовательно, увеличится разность между напряжением питания и противо-ЭДС. Увеличение результирующего напряжения на обмотке якоря двигателя приведет к увеличению тока в цепи якоря и момента, развиваемого двигателем. Под действием положительного динамического момента произойдет увеличение частоты вращения двигателя, т. е. скомпенсируется ее снижение, вызванное увеличением нагрузки на валу. При перегрузке двигателя, приведшей к его остановке, противо-ЭДС равна нулю и через цепь якоря двигателя протекает максимальный ток, называемый током короткого замыкания. Аналогичный режим работы имеет место при запуске двигателя, поскольку в момент подачи напряжения питания противо-ЭДС также равна нулю.

Протяжная вентиляция — способ охлаждения вращающихся электрических машин, при котором охлаждающий воздух подается с одной стороны корпуса машины и выбрасывается с другой.

Проходная мощность — мощность автотрансформатора, отдаваемая его первичной и вторичной обмотками.

В связи с тем что в автотрансформаторе существует гальваническая связь между первичной и вторичной обмотками, часть электрической мощности передается в нагрузку непосредственно через первичную обмотку, а часть — за счет преобразования энергии, обусловленной электромагнитной связью обмоток (собственная мощность). Проходная мощность является номинальной мощностью автотрансформатора и определяется через произведение напряжения U_1 и тока I_1 первичной или напряжения U_2 и тока I_2 вторичной обмоток, т. е.

$$S_{пр} = U_1 I_1 = U_2 I_2.$$

В трехфазном автотрансформаторе при определении проходной мощности следует учитывать коэффициенты связи между токами и напряжениями, зависящие от схемы соединения обмоток.

Проходной изолятор — конструктивный элемент масляного трансформатора, выполненный из электроизоляционного материала и предназначенный для фиксации токопроводящего элемента, соединяющего выводы обмотки с внешней электрической цепью.

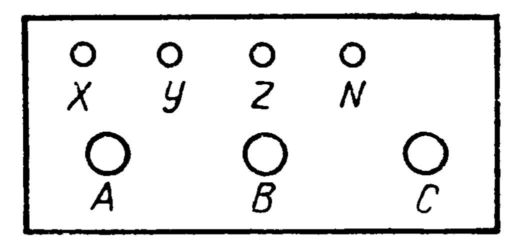


Рис. 121. Проходной изолятор

Конструктивное исполнение и используемый материал проходного изолятора полностью определяются значением напряжения, тока и условиями эксплуатации трансформатора, а также способом его охлаждения (конвекционное, принудительное). Для выводов обмотки высокого напряжения используются, как правило, фарфоровые изоляторы, устанавливаемые на крышке масляного бака трансформатора посредством винтовой резьбы. Для выводов обмотки низкого напряжения используются изоляторы из керамики, фиксируемые с помощью шайбы с резьбой из того же материала.

На крышке масляного бака изоляторы располагаются в два ряда, причем нижний ряд составляют высоковольтные, а верхний — низковольтные (рис. 121). При напряжении выше 110 кВ все проходные изоляторы оснащаются проходными конденсаторами, в которые в случае необходимости встраиваются измерительные трансформаторы тока.

Процесс нагрева — увеличение температуры электрической машины с течением времени. Рост температуры машины происходит по экспоненциальному закону. Причина этого заключается в том, что скорость повышения температуры пропорциональна интенсивности теплообмена машины с окружающей или охлаждающей средой и разности их температур. Увеличение температуры прекращается в том случае, если количество выделяемого в машине тепла равно

количеству тепла, отводимого от нее, т. е. при тепловом балансе (рис. 122). Интенсивность нагрева оценивается с помощью величины τ, называемой *тепловой постоянной времени*. Она может быть определена следующим образом. Если известен закон изменения температуры машины, представленной в виде экспоненциальной зависимости, необходимо из начала координат провести касательную к этой зависимости, которая пересечет горизонтальную линию, соответствующую установившемуся значению температуры машины. Тогда отрезок, ограниченный осью температур и указанной точкой пересечения, и будет равен тепловой постоянной τ. Тепловая постоянная времени определяется при допущении, что количество отводимого от машины тепла равно нулю, т. е. отсутствует теплообмен машины с окружающей средой. Необходимость принятия этого допущения объясняется тем обстоятельством, что на практике рост температуры

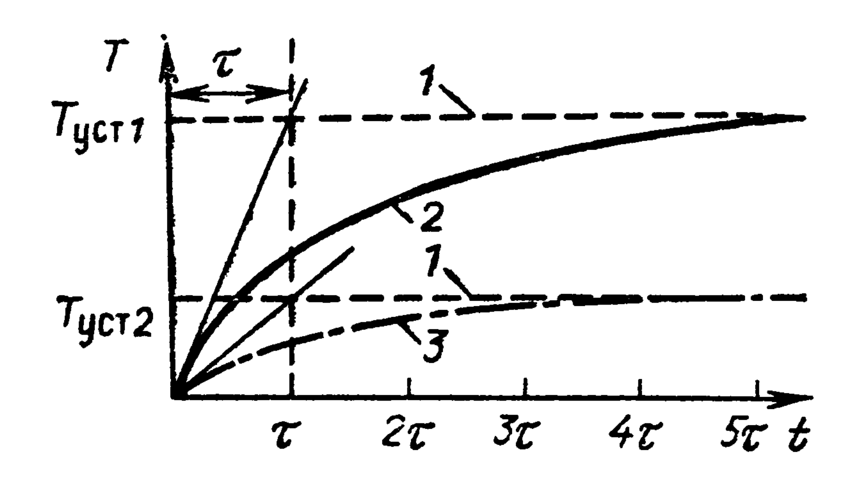


Рис. 122. Процесс нагрева:

1 — установившиеся значения температур; характеристики нагрева машин с естественной (2) и принудительной (3) вентиляцией

до установившегося значения может происходить в течение длительного времени. Принято считать, что температура машины достигает установившегося значения за время, равное (3—4)τ. При изменении нагрузки электрической машины качественная картина нагрева сохраняется, а изменение касается только установившегося значения температуры машины. Тепловая постоянная времени в этом случае не изменяется и полностью определяется конструктивными особенностями электрической машины.

Процесс охлаждения электрической машины также описывается экспоненциальной зависимостью, в соответствии с которой температура машины плавно уменьшается от установившегося значения до температуры окружающей среды. При остановке вращающейся электрической машины тепловая постоянная времени увеличивается, поскольку теплоотдача вращающегося ротора больше теплоотдачи неподвижного ротора.

Для лучшего использования электрической машины желательно, чтобы ее действительная температура была близка к предельно допустимой температуре, указанной в паспортных данных машины. При качественной и количественной оценках процесса нагрева необходимо учитывать колебание значения нагрузки и цикличность ее изменения.

Процесс пуска (реостатный пуск).

Прошивная обмотка — обмотка переменного тока или компенсационная обмотка машины постоянного тока, витки которой один за другим протягиваются в полузакрытые пазы шихтованных статора или ротора.

Для намотки используются такие приспособления, как формовочный шаблон, направляющие и металлические иглы. Пазовая изо-

ляция образована гильзой из электроизоляционного материала, внутри нее выполнены сквозные отверстия, число которых соответствует числу витков обмотки. Лобовые части прошивной обмотки формуются с помощью специального шаблона. Концы проводников, пропущенных через отверстия указанной гильзы, обрезаются, зачищаются от изоляции и залуживаются. Для облегчения протаскивания проводов через отверстия гильзы используется материал, уменьшающий трение, например тальк. Протягивание проводов через отверстия гильзы осуществляется как вручную, так и с помощью специального механизма. При протягивании через гильзу иглы с проводником одновременно производится формовка секции обмотки. По такому же принципу формуется и вся обмотка. При серийном изготовлении двигателей с прошивной обмоткой их намотка практически полностью автоматизирована. При намотке одной секции между ее витками устанавливается дополнительный шаблон, который удаляется после намотки секции. Для снижения общего количества соединений используются право- и левоходовая намотки по аналогии с петлевыми обмотками. После намотки обмотка подключается к питающей сети, подвергается испытанию повышенным напряжением, а затем пропитывается электроизоляционным лаком и проходит сушку. Обычно прошивные обмотки отличаются высокой электрической и механической прочностью, хотя и сложны в изготовлении. Они используются в тех случаях, когда с целью улучшения электромагнитных характеристик машины или предотвращения повреждения обмоток от электродинамических усилий используются полузакрытые или закрытые пазы.

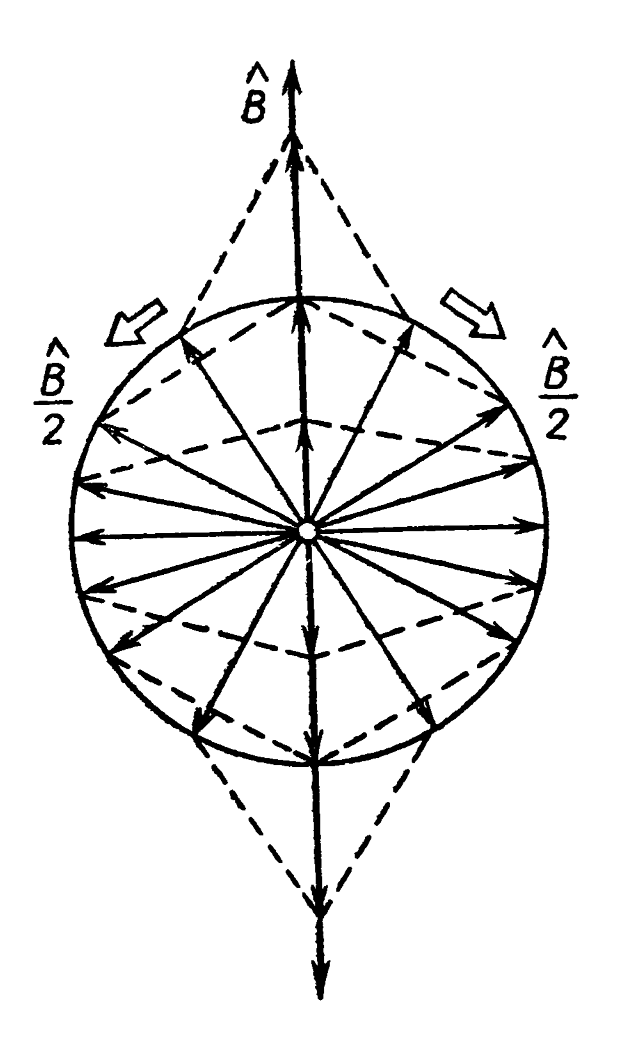


Рис. 123. Пульсирующее магнитное поле

Пружинный привод — разновидность привода, используемого в механизмах выключателей высокого напряжения.

При включении выключателя, осуществляемом вручную или с помощью какого-либо автоматического устройства, сжимается возвратная пружина, являющаяся рабочим элементом привода. В этом положении механизм выключателя фиксируется защелкой. При освобождении защелки механизм выключателя под действием потенциальной энергии, запасенной в возвратной пружине, возвращается в исходное, отключенное состояние. Для повышения надежности иногда используется дублирующая пружина.

Прямая секция обмотки (двухслойная обмотка).

Прямое вращающееся поле (вращающееся поле).

Пульсирующее магнитное поле — магнитное поле, значение которого периодически изменяется без изменения формы и положения магнитного поля относительно создавшей его обмотки (рис. 123).

При протекании переменного тока, например, через обмотку репульсионного двигателя в его воздушном зазоре создается пульсирующее магнитное поле. Любое такое поле может быть представ-

лено в виде двух магнитных полей, вращающихся в противоположные стороны. При неподвижном состоянии ротора указанного двигателя вращающиеся магнитные поля создают моменты с противоположными знаками, вследствие чего ротор двигателя остается неподвижным.

Пускатель — коммутационный электрический аппарат, предназначенный для пуска, остановки и защиты электродвигателей без выведения из его цепи сопротивления резисторов и без введения его.

Чувствительными элементами в пускателе являются тепловое реле и электромагнитный расцепитель. Тепловое реле включается в две из трех фаз трехфазного электродвигателя и содержит биметаллическую пластину. Электромагнитный расцепитель обеспечивает отключение при резком увеличении тока через обмотки. В большинстве случаев в пускателе предусматривается плавное или дискретное изменение уставки срабатывания теплового реле и расцепителя, что позволяет повысить чувствительность системы защиты [5].

Пусковой конденсатор (асинхронный конденсаторный двигатель).

Пусковой реостат (ПР) — коммутационный электрический аппарат, предназначенный для пуска электродвигателей путем изменения значения вводимого в цепи обмоток сопротивления резисторов, являющихся частью этого аппарата.

По конструктивным признакам различают ползунковые, барабанные и кулачковые ПР, выполняемые с различным количеством пусковых ступеней. В двигателях постоянного тока ПР включается последовательно с обмоткой якоря, вследствие чего снижается пусковой ток. В двигателях переменного тока ПР включаются в цепь обмотки ротора через контактные кольца, что позволяет ограничить ток в обмотке статора, улучшить коэффициент мощности $\cos\varphi$ и увеличить пусковой момент. В асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором ПР включаются последовательно с обмоткой статора. При запуске двигателей электрическая энергия преобразуется в ПР в тепловую. Тип ПР определяется мощностью двигателя, частотой и тяжестью пусков [5].

Пусковой реостат барабанного типа (пусковой реостат).

Пусковой реостат постоянного тока — переменный резистор, предназначенный для ограничения пускового тока двигателя постоянного тока.

При подаче напряжения питания на обмотку якоря двигателя постоянного тока ток якорной цепи обратно пропорционален ее сопротивлению и прямо пропорционален приложенному напряжению, поскольку противо-ЭДС в этот момент времени равна нулю. Пусковой ток в 7—20 раз превышает номинальный ток двигателя и приводит к ускоренному нагреву обмотки.

С помощью последовательно включенного в якорную цепь пускового реостата при пуске нагруженного двигателя пусковой ток снижают до полуторакратного значения номинального тока. Обычно пусковые реостаты используются для запуска двигателей мощностью от 1,5 до 100 кВт. По мере увеличения частоты вращения двигателя растет противо-ЭДС, что приводит к автоматическому снижению тока якорной цепи. Для поддержания необходимого значения пускового тока, а следовательно, и момента двигателя по мере разгона двигателя следует уменьшать сопротивление пускового реостата, что обеспечивается, например, последовательным шунтированием его секций.

Пусковой ток (реостатный пуск; процесс пуска).

Пусковой трансформатор (ПТ) — трансформатор или автотрансформатор, предназначенный для изменения напряжения ступенями при пуске электродвигателей.

Наиболее часто в качестве ПТ используется автотрансформатор (рис. 124), отпайки обмоток которого подключаются к выводам обмотки статора двигателя. Снижение пускового тока обеспечивается благодаря уменьшению напряжения на указанной обмотке. При этом происходит снижение момента двигателя пропорционально квадрату приложенного напряжения. Обычно ПТ могут иметь одну или несколько отпаек, что позволяет в последнем случае повысить плавность пуска двигателя. После окончания процесса пуска ПТ отключается и двигатель включается на полное напряжение питающей сети.

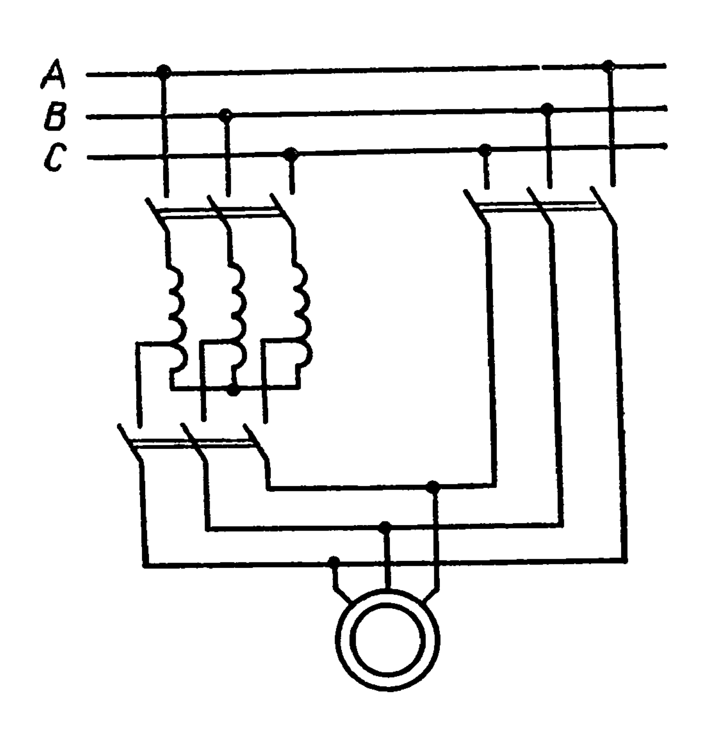


Рис. 124. Пусковой трансформатор

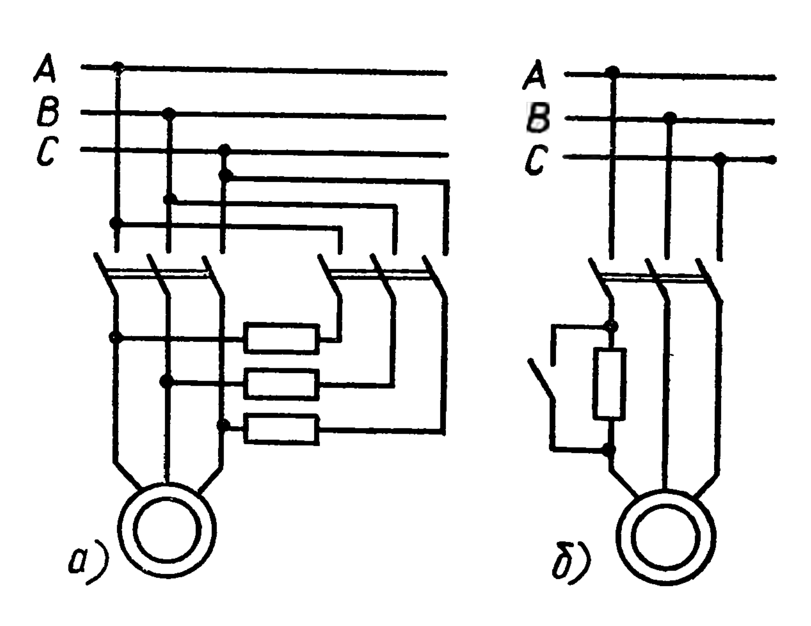


Рис. 125. Пусковые резисторы в цепи статора:

а — трехфазная и *б* — однофазная схемы

Пусковые резисторы в цепи статора — резисторы, включаемые в фазы обмотки статора двигателя переменного тока на время его запуска.

Данный способ пуска используется для запуска маломощных асинхронных двигателей и позволяет ограничить пусковой ток. Однако одновременно происходит снижение пускового момента. Пусковые резисторы могут включаться по симметричной (рис. 125, *а*) и несимметричной (рис. 125, *б*) схемам, т. е. резисторы включаются во все или в одну фазу обмотки статора. При несимметричном включении пускового резистора или индуктивности двигатель разгоняется плавно, но токоограничение обеспечивается лишь в одном фазном проводе. Пусковой момент может изменяться от нулевого до номинального значения в зависимости от сопротивления пускового резистора. Данная схема пуска двигателей переменного тока применяется также с целью ограничения механических напряжений в передаточных устройствах электроприводов.

Пусковые характеристики — свойства двигателя, характеризующие его реакцию на подачу полного напряжения питания на обмотку (характеристика механическая).

Пусковые характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Для дан-

ных двигателей характерны небольшое значение пускового момента и значительный пусковой ток, в 4—12 раз превышающий номинальный. Прямой пуск применяется для двигателей малой мощности. В двигателях большой мощности ограничение пускового тока производится с помощью различных пусковых устройств. Снижение пускового тока асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором может быть обеспечено в двигателях с фазным ротором или с вытеснением тока ротора.

Пусковые характеристики двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением. Данные двигатели развивают большой пусковой момент, благодаря чему время пуска оказывается незначительным даже при большой нагрузке. При пуске мощных двигателей используются пусковые устройства различного типа.

Пусковые характеристики двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением. Указанные двигатели при прямом пуске также развивают большой момент при одновременном резком увеличении пускового тока по сравнению с его номинальным значением, так как при неподвижном роторе противо-ЭДС двигателя равна нулю. Поэтому ток в обмотке якоря прямо пропорционален значению питающего напряжения и обратно пропорционален сопротивлению цепи якоря. Прямой пуск используется только для двигателей малой мощности [8].

Путевой выключатель (ПВ) — выключатель, изменяющий свое коммутационное положение или состояние при заданных положениях перемещающихся относительно него подвижных частей рабочих машин и механизмов.

Наиболее часто ПВ используются в электроприводах грузоподъемных механизмов (кранов, подъемников) и пассажирских лифтов. На подвижной, механической части электропривода установлены штанга или кулачок, воздействующие на орган управления ПВ. При подходе указанного механизма в крайнее положение ПВ срабатывает и отключает контактор, подающий питание на приводной электродвигатель. В отдельных случаях ПВ непосредственно отключает электродвигатель. После этого возможно включение и движение электропривода только в обратном направлении. Обычно ПВ выполняют также и защитные функции, ограничивая ход исполнительного органа рабочей машины [5].

Р

Работа параллельно с сетью (параллельная работа трансформаторов).

Рабочая точка — точка пересечения нагрузочной характеристики рабочего механизма и механической характеристики двигателя электропривода (рис. 126).

При увеличении момента нагрузки двигателя электропривода происходит снижение его частоты вращения. В то же время при увеличении частоты вращения производственного механизма его момент увеличивается. В рабочей точке момент двигателя уравновешивается моментом нагрузки, в результате чего двигатель работает в стационарном режиме с постоянной частотой вращения. При изменении нагрузки на валу двигателя возникает разность моментов

двигателя и нагрузки, вследствие чего происходит увеличение или снижение частоты вращения привода, т. е. он переходит в нестационарный режим работы. При этом рабочая точка на механической характеристике двигателя смещается в соответствующую сторону до тех пор, пока не наступит равенство указанных моментов. Аналогичная картина имеет место при изменении параметров напряжения питания (амплитуды, частоты).

Рабочий вал — схема электрического соединения обмоток не связанных механически электродвигателей, каждый из которых соединен с валом собственного рабочего органа разных механизмов или одного и того же механизма. Указанная схема обеспечивает автоматическое выравнивание частот вращения двигателей при различии (до определенного предела) моментов нагрузки двигателей.

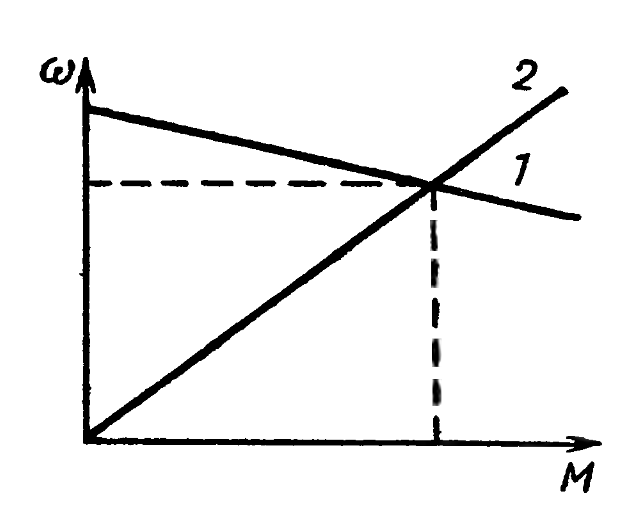


Рис. 126. Рабочая точка:
1, 2 — характеристики двигателя и нагрузки; ω — частота вращения; *M* — момент

Рис. 127. Рабочий вал:
1 — регулировочный резистор

В схеме рабочего вала используются асинхронные двигатели с фазным ротором. Обмотки статоров двигателей подключены к сети, а обмотки роторов соединены пофазно последовательно и подключены к общему трехфазному регулировочному резистору (рис. 127). Благодаря такому включению обмоток двигателей обеспечивается равенство не только частот вращения, но и угловых положений роторов двигателей. Основным недостатком рабочего вала является снижение частоты вращения двигателей на 10—20 % и увеличение потерь в регулировочном резисторе [10].

Рабочий конденсатор (асинхронный конденсаторный двигатель).

Рабочий конец вала (РКВ) электрической машины используется для механической связи с первичным двигателем или рабочей машиной и присоединяется у двигателей — непосредственно или через передаточное устройство к производственному механизму, у генераторов — к первичному двигателю, например к двигателю внутреннего сгорания. У машин с двумя концами валов рабочий конец имеет бóльший диаметр либо расположен справа от клеммной коробки или со стороны, противоположной коллектору или контактным кольцам.

Радиальный вентилятор (вентилятор).

Радиопомехи — электромагнитные излучения в частотном диапазоне от 150 кГц до 300 МГц, вызывающие нарушение процесса функционирования каналов радиовещания и телевидения.

Источниками радиопомех могут быть следующие устройства:

щеточно-коллекторные узлы электрических машин;

машины постоянного тока с большими частотами вращения и малым количеством пазов;

тиристорные регуляторы напряжения;

контактные системы различных реле, а также газоразрядные лампы люминесцентного освещения.

При частоте радиопомех ниже 30 МГц они в основном передаются по проводным каналам связи (в том числе и через системы распределения электроэнергии), при частоте более 30 МГц — в виде электромагнитного излучения. При решении задачи защиты от радиопомех в каждом конкретном случае должна быть показана техническая необходимость и экономическая целесообразность реализации системы защиты.

Развязывающий трансформатор — обычный трансформатор малой мощности с коэффициентом трансформации, равным 1, предназначенный для гальванической развязки электрических цепей.

Разгон двигателя — нестационарный режим работы двигателя, характеризующийся изменением его частоты вращения после подачи на него питающего напряжения. Частота вращения при разгоне изменяется от нуля до установившейся величины.

После прямого подключения двигателя к питающей сети через его обмотку начинает протекать пусковой ток, превышающий в несколько раз номинальный. В процессе разгона двигателя пусковой ток уменьшается и достигает номинального значения, соответствующего моменту нагрузки двигателя. Максимальный пусковой ток при разгоне соответствует заторможенному состоянию ротора двигателя. Ограничение пускового тока производится различными пусковыми устройствами.

Размагничивание машины (самовозбуждение).

Разомкнутое управление — автоматическое управление, при котором выходной сигнал системы автоматического регулирования не оказывает влияния на входной сигнал системы.

При разомкнутом управлении все элементы и блоки системы автоматического регулирования включаются последовательно, в результате чего входной сигнал последовательно преобразуется в каждом элементе и блоке и поступает на управляющий вход регулятора. По этой причине любая помеха, обусловленная внешними или внутренними факторами, может внести дополнительную погрешность в параметр регулирования, которая не поддается автоматической компенсации. Разомкнутое управление используется в тех случаях, когда не предъявляется жестких требований к точности системы регулирования или объект регулирования работает в режиме «включено — выключено» (например, в обычной схеме включения двигателя). При номинальных параметрах напряжения питания и моменте нагрузки на валу двигателя частота его вращения также будет иметь номинальное значение. Отклонение от номинала напряжения питания или момента нагрузки приведет к изменению частоты вращения двигателя, которое не будет скомпенсировано ввиду отсутствия обратной связи по частоте вращения.

Разрядный ток — ток, возникающий при подключении потребителей к аккумуляторной батарее или разрядного резистора к заряженному конденсатору.

Разъединитель (Р) — контактный коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации электрической цепи без тока или

с незначительным током и имеющий для обеспечения безопасности в отключенном положении изоляционный промежуток (рис. 128).

Обычно Р не содержит быстродействующего исполнительного механизма и не может ограничить время горения на контактах электрической дуги. В отключенном состоянии между контактами Р должен быть визуально фиксируемый промежуток, не пробиваемый при внезапном появлении напряжения. В конструктивном отношении Р характеризуются многообразием (тросовые, пантографические и т. д.). Помимо отключения электрической цепи от питающей сети с помощью Р осуществляется заземление указанной цепи, для чего подвижный контакт Р после отключения от неподвижного контакта питающей линии подключается к заземленному второму неподвижному контакту. При управлении Р используются механическая и электрическая блокировки, позволяющие включать и выключать Р только при отсутствии тока нагрузки [6].

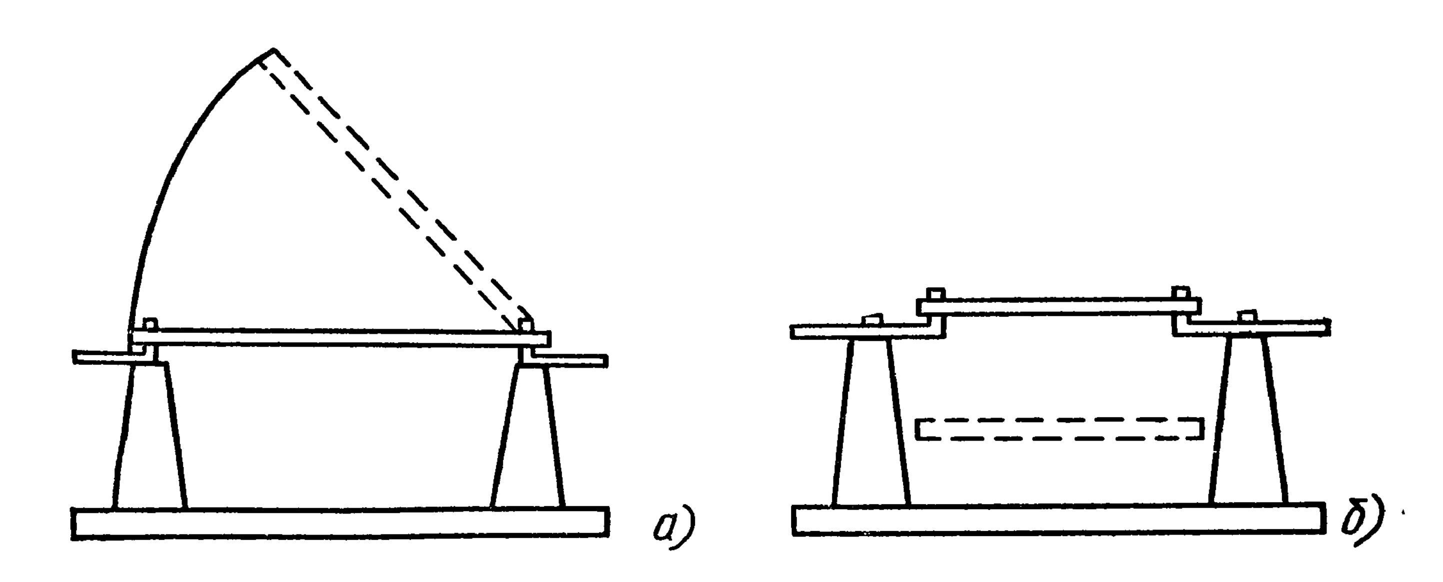


Рис. 128. Разъединитель:

контактная система с поворачивающимся (*а*) и падающим (*б*) подвижными контактами

Разъединитель нагрузки — разъединитель высокого напряжения, предназначенный для отключения электропотребителей и оснащенный устройством дугогашения.

Расположение сторон катушек в пазу — порядок расположения в пазу электрической машины активных сторон катушек обмотки. В зависимости от типа обмотки (одно- или двухслойная) в одном пазу могут располагаться одна над другой до шести сторон катушек.

Распределение активной мощности (параллельная работа генераторов).

Распределение реактивной мощности (параллельная работа генераторов).

Распределение силовых линий магнитного поля — картина распределения силовых линий магнитного поля в конструкции, содержащей детали из ферромагнитных материалов и катушки с током. В трансформаторах такое распределение обычно представляет интерес для магнитной системы, во вращающихся электрических машинах — для области с явновыраженными полюсами (рис. 129, *а*) и для области с пазами и уложенной в них обмоткой (рис. 129, *б*).

Распределенная обмотка — обмотка вращающейся электрической машины, распределенная по окружности ротора или статора

и уложенная в их пазах (рис. 130); обмотка состоит из отдельных катушек или катушечных групп, образующих обмотки якоря машин постоянного и переменного тока.

Рассогласование — отклонение действительного значения регулируемого параметра от его заданного значения.

Разность действительного и заданного значений регулируемого параметра, имеющая положительный или отрицательный знак, подается на вход регулятора, сводящего к минимуму имеющееся рассогласование.

Растормаживающий электромагнит (РЭМ) — электромагнит электромеханического тормозного устройства, предназначенного для создания тормозного момента на валу электродвигателя с целью его остановки.

На валу двигателя установлен тормозной барабан (рис. 131),

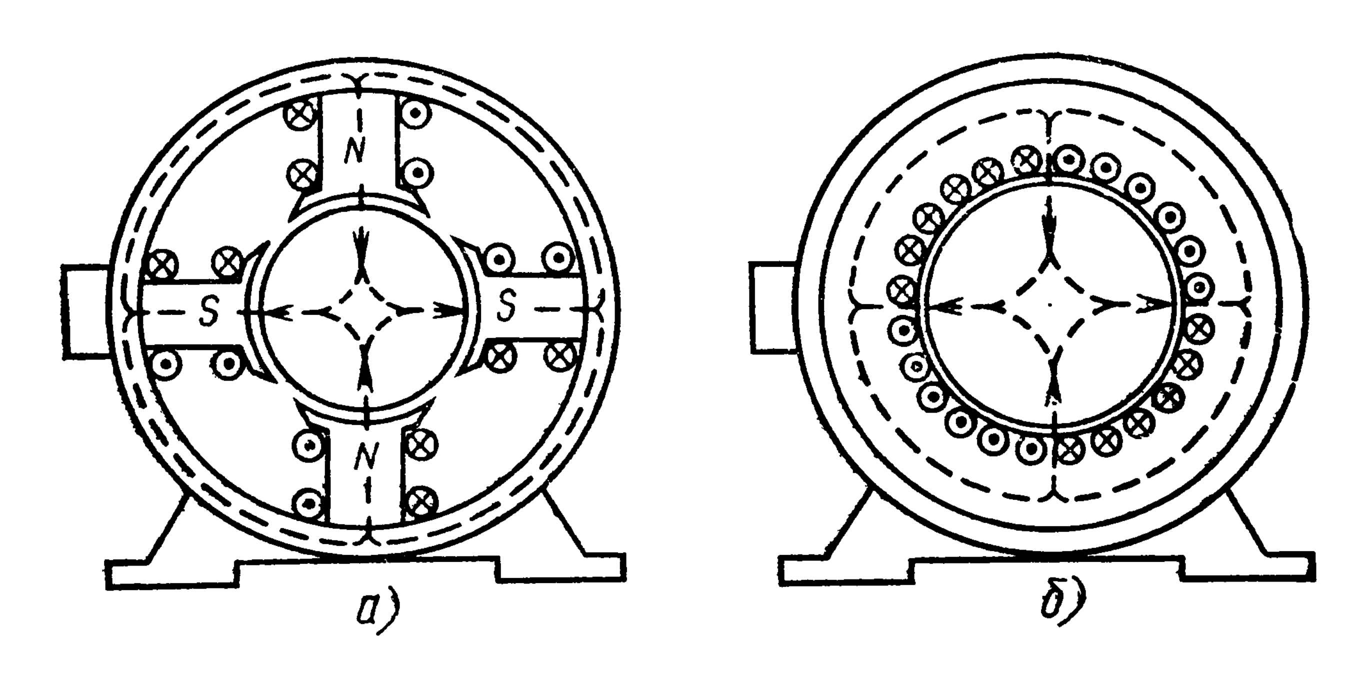


Рис. 129. Распределение силовых линий магнитного поля

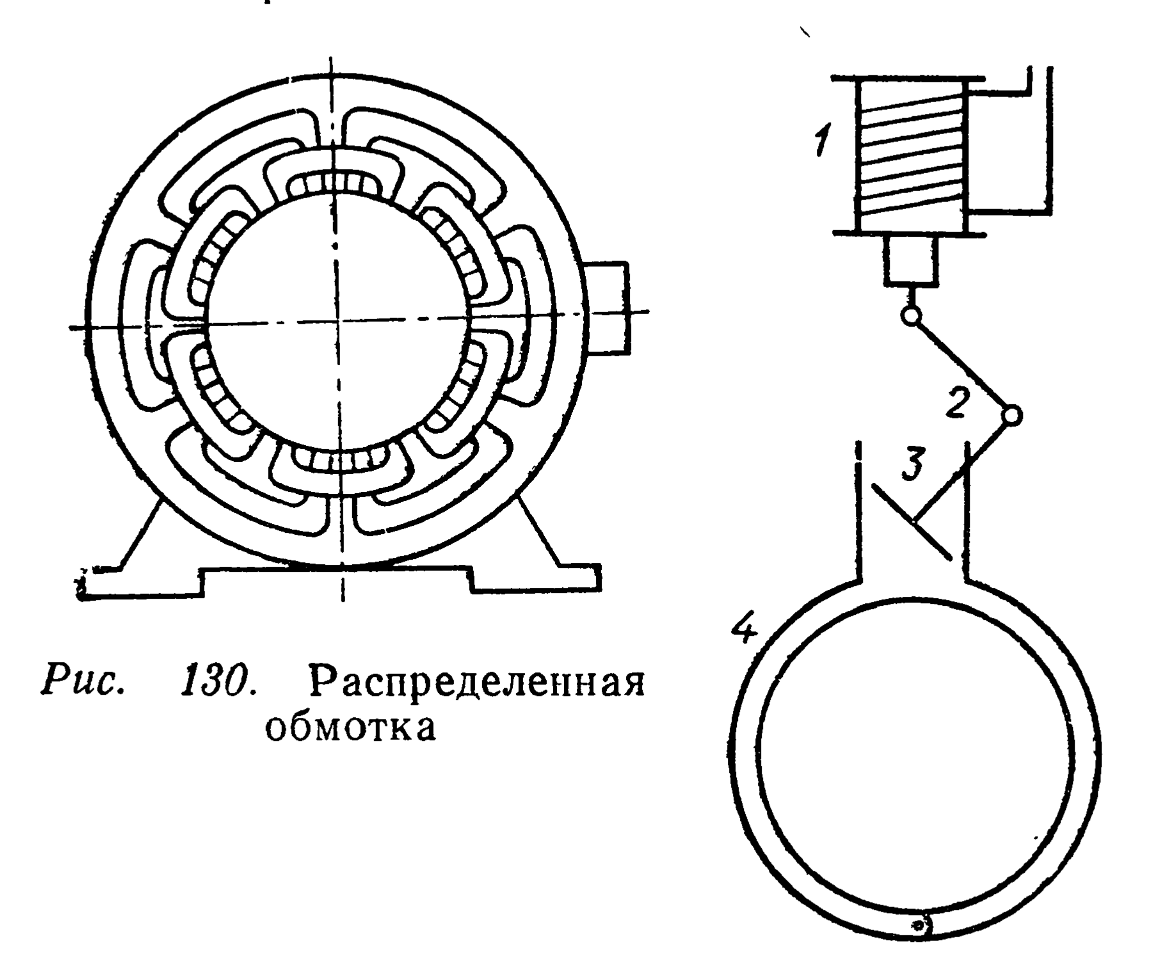


Рис. 130. Распределенная обмотка

Рис. 131. Растормаживающий электромагнит:
1 — обмотка с сердечником; *2* — механическая тяга; *3* — разжимной кулачок; *4* — стальная лента

охваченный стальной лентой, между свободными концами которой расположен разжимной кулачок. Это кулачок посредством тяги соединен с якорем РЭМ. При возбуждении РЭМ его якорь перемещается вверх, благодаря чему указанный кулачок, поворачиваясь, занимает горизонтальное положение, разжимая концы стальной ленты. При этом лента отходит от поверхности тормозного барабана, обеспечивая возможность свободного вращения ротора электродвигателя. Обмотка РЭМ подключается, как правило, к выводам обмотки электродвигателя, вследствие чего его ротор освобождается сразу же после подключения двигателя к питающей сети. При отключении обмотки якорь РЭМ опускается вниз и стальная лента прижимается к поверхности тормозного барабана, обеспечивая остановку отключенного двигателя. Обмотка РЭМ может питаться как переменным, так и постоянным током.

Расширитель (Р) — сосуд, соединенный с баком трансформатора трубопроводом и служащий для локализации колебаний жидкого диэлектрика.

Обычно Р устанавливается в верхней части бака трансформатора непосредственно на его крышке или на боковой поверхности. Посредством перепускной трубы Р соединен с полостью бака трансформатора, по которой излишки масла поступают в Р. Размер Р выбирается с учетом того, чтобы в холодном состоянии обмотки трансформатора были полностью погружены в масло, а при достижении ими максимально допускаемой температуры вытесненное в процессе теплового расширения масло не превышало объема Р. Для предотвращения попадания в масло влаги из атмосферы полость Р должна быть герметичного исполнения. Конденсирующаяся в Р влага осаждается на дно и удаляется из него через дренажное отверстие, снижающее площадь поверхности масла, контактирующего с атмосферой. В трансформаторах большой мощности дополнительно используется принудительное воздушное охлаждение масла, причем воздух предварительно подвергается очистке и сушке. Для контроля уровня масла в баке используется мерное стекло с делениями [4].

Реактивная мощность (РМ) — мощность цепи переменного тока, циркулирующая между источником переменного тока и индуктивностями или емкостями электрической сети. Условное обозначение — Q, единица измерения — вольт-ампер-реактивный (вар).

При наличии в цепи переменного тока электропотребителей с индуктивным или емкостным характером нагрузки происходит периодическое преобразование части полной энергии цепи в энергию

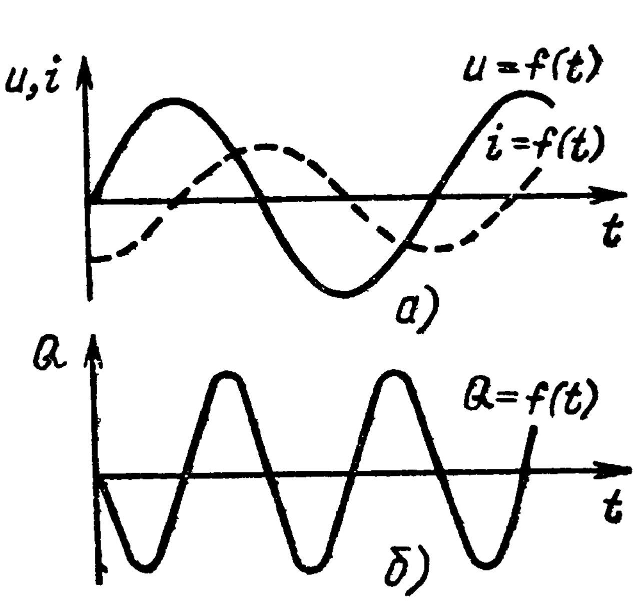
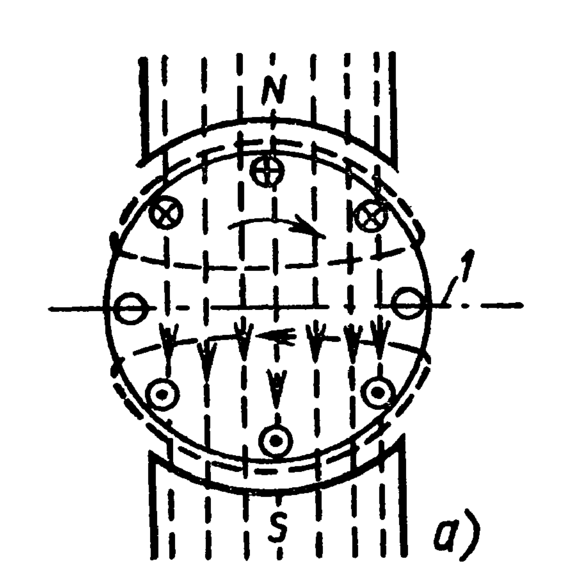


Рис. 132. Изменения тока i, напряжения u (a) и реактивной мощности θ ($б$) во времени

электромагнитного поля индуктивности или в энергию электрического поля емкости. Указанные потребители накапливают энергию соответствующего вида, а затем возвращают ее в источник питания. Далее РМ меняет первоначальное направление и весь процесс повторяется сначала. При наличии РМ в питающей сети имеет место фазовый сдвиг между током и напряжением. Предположим, что ток отстает от напряжения на 90° (чисто индуктивная нагрузка, рис. 132, *а*). Тогда при разных знаках тока и напряжения РМ возвращается в источник питания, а при совпадении знаков тока и напряжения направление РМ меняется на противоположное. Как видно из рис. 132, *б*, в течение одного периода питающего напряжения при фазовом угле сдвига 90° РМ несколько раз изменяет свое направление. Из примера можно видеть, что на циркуляцию РМ не затрачивается активная энергия. Однако РМ перегружает по току источник питания и распределительную сеть, вследствие чего увеличиваются падение напряжения и активные потери. Обычно РМ может быть измерена с помощью измерительных приборов электродинамической системы [1].



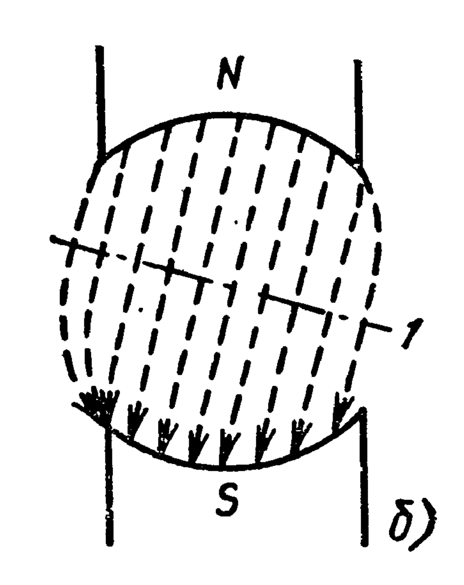


Рис. 133. Реакция якоря:
1 — нейтральная зона; *N*, *S* — полюсы машины

Реактивный ток (полный ток).

Реакция на импульсный сигнал — изменение во времени выходного сигнала интегрального, дифференциального и любого другого звена при скачкообразном изменении сигнала на его входе. Реакция отражает динамическую характеристику элемента автоматики.

Реакция якоря — воздействие намагничивающей силы обмотки якоря на поле электрической вращающейся машины, созданное обмоткой возбуждения или постоянными магнитами.

Реакция якоря в машинах постоянного тока. Создаваемый главными полюсами магнитный поток ненагруженной машины постоянного тока расположен симметрично относительно указанных полюсов. При протекании тока нагрузки в обмотке якоря создается собственный магнитный поток, направленный перпендикулярно потоку возбуждения и не зависящий от направления вращения ротора (рис. 133, *а*). Следствием взаимодействия указанных потоков является результирующий поток (рис. 133, *б*), ось геометрической нейтрали которого смещена на некоторый угол относительно оси геометрической нейтрали ненагруженной машины. В результате происходит изменение потока возбуждения машины.

Обычно РЯ приводит также к искрению под щетками и к снижению ЭДС, наводимой в обмотке якоря. Для устранения этих эффектов используется компенсационная обмотка, укладываемая в па-

зы главных полюсов или расположенная на дополнительных полюсах.

Реакция якоря в синхронных машинах. В синхронных машинах поток возбуждения создается обмоткой, по которой протекает постоянный ток. В обмотке якоря при вращении ротора наводится ЭДС и током нагрузки создается собственное вращающееся магнитное поле. По своему действию на поток возбуждения вращающееся магнитное поле синхронной машины эквивалентно потоку, создаваемому обмоткой якоря машины постоянного тока.

Направление вращения магнитного поля, созданного обмоткой якоря синхронной машины, зависит от последовательности чередования фаз обмотки. Фазовый угол сдвига между напряжением и током обмотки якоря определяет угловое смещение между потоками возбуждения и якоря. При индуктивном характере нагрузки реакция якоря оказывает размагничивающее действие, при емкостном характере нагрузки — подмагничивающее. Указанный эффект прежде всего проявляется в синхронной машине, работающей в режиме генератора. В этом случае напряжение на зажимах генератора определяется не только значением, но и характером нагрузки [8].

Реверс — изменение направления вращения двигателя на обратное.

Реверс осуществляется следующим образом:

в трехфазных синхронных и асинхронных двигателях — переключением двух фазных проводов питающей сети;

в однофазных двигателях переменного тока — переключением выводов вспомогательной обмотки;

в двигателях постоянного тока — переключением выводов обмотки якоря или возбуждения;

в маломощных двигателях постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов — переключением выводов обмотки якоря;

в двигателе с расщепленными полюсами необходимо изменить конструкцию пакета статора.

Реверсивная работа — режим работы электродвигателя, предусматривающий вращение ротора в обоих направлениях и обеспечиваемый, как правило, переключением обмоток электродвигателя с помощью контактных и бесконтактных переключателей.

Регулирование в функции времени (программно-временной задатчик).

Регулирование частоты вращения — процесс заданного изменения частоты вращения двигателя при неизменной нагрузке.

Регулирование частоты осуществляют:

для асинхронных двигателей — путем изменения скольжения, частоты и амплитуды напряжения питания или переключения числа пар полюсов (*схема Даландера*);

для двигателей постоянного тока — путем изменения значения напряжения питания (например, с помощью тиристоров), значения тока возбуждения (с помощью регулятора возбуждения) или включением добавочных резисторов в цепь обмотки якоря по последовательной или параллельной схеме;

для трехфазных коллекторных двигателей переменного тока и репульсионных двигателей — путем смещения щеток оператором или автоматическим устройством;

для однофазных коллекторных двигателей переменного тока большой мощности — с помощью регулировочного трансформатора, малой мощности — с помощью резисторов.

Регулировочная характеристика электромагнитной муфты — зависимость развиваемого электромагнитной муфтой момента от тока в обмотке возбуждения.

Фрикционные электромагнитные муфты, как правило, используются для включения и отключения производственного механизма и не предназначены для регулирования момента и частоты вращения электропривода. Последнюю задачу решают электромагнитные муфты скольжения и порошковые муфты. Изменение момента осуществляется в этом случае изменением значения тока в обмотке возбуждения.

Регулировочный реостат (РР) — переменный резистор, предназначенный для регулирования тока в обмотках электрических машин.

В генераторах с целью регулирования выходного напряжения РР включают в цепь обмотки возбуждения. При регулировании частоты вращения двигателей постоянного тока вниз от номинального значения РР включают в цепь обмотки якоря. При регулировании частоты вращения вверх от номинального значения РР включают в цепь обмотки возбуждения, ослабляя поле возбуждения. К РР относятся также реостаты, предназначенные для ограничения пусковых токов электродвигателей.

Регулировочный трансформатор — стационарный или переносной трансформатор специальной конструкции, в котором напряжение на вторичной обмотке регулируется путем изменения геометрии магнитной системы, взаимного расположения обмоток, переключения их отпаек и т. п.

Несмотря на значительное конструктивное многообразие регулировочных трансформаторов их можно разделить на две большие группы: трансформаторы с изменением количества витков обмоток; трансформаторы с изменением магнитного состояния магнитной системы.

Регулирующий параметр — параметр, изменение которого позволяет воздействовать на значение и характер изменения параметра регулирования системы автоматического управления.

При рассмотрении двигателя постоянного тока как объекта регулирования, в котором частота вращения является параметром регулирования, к регулирующему параметру относят ток возбуждения и напряжение на обмотке якоря.

Регулирующий усилитель — усилитель системы автоматического регулирования, коэффициент усиления которого зависит от частоты проходящего через него сигнала.

С помощью регулирующего усилителя изменяется частотная характеристика системы регулирования, что позволяет сохранить ее устойчивость в широком диапазоне изменения частоты входного сигнала. Аналогичная задача, но для меньшего диапазона изменения частоты входного сигнала, решается с помощью корректирующих звеньев, включаемых в цепь обратной связи.

Регулятор (Р) — основной элемент системы автоматического регулирования, предназначенный для воздействия на объект регулирования с целью регулирования или стабилизации его выходного параметра.

На практике Р может формировать управляющее воздействие для промежуточного элемента, например усилителя, либо непосредственно воздействовать на объект регулирования. В первом случае в качестве вспомогательной используется энергия сжатой жидкости,

воздуха или электрического тока. В гидравлических и пневматических устройствах в качестве Р используются вентили, клапаны, заслонки. В электрических устройствах находят применение регулирующие трансформаторы, магнитные усилители, полупроводниковые Р различных типов. Обычно Р могут быть предназначены для работы с аналоговыми и цифровыми сигналами.

Регулятор возбуждения — резистор с переменным сопротивлением, включаемый в обмотку возбуждения машины постоянного тока.

В машинах постоянного тока с последовательным возбуждением используется низкоомный резистор, включенный параллельно обмотке возбуждения. В машинах постоянного тока с параллельным и независимым возбуждением относительно высокоомный резистор включается последовательно с обмоткой возбуждения. В генераторах постоянного тока с последовательным и независимым возбуждением в клеммной коробке установлены два короткозамкнутых вывода, через которые замыкается ток, вызванный ЭДС самоиндукции, возникающей при обрыве цепи возбуждения.

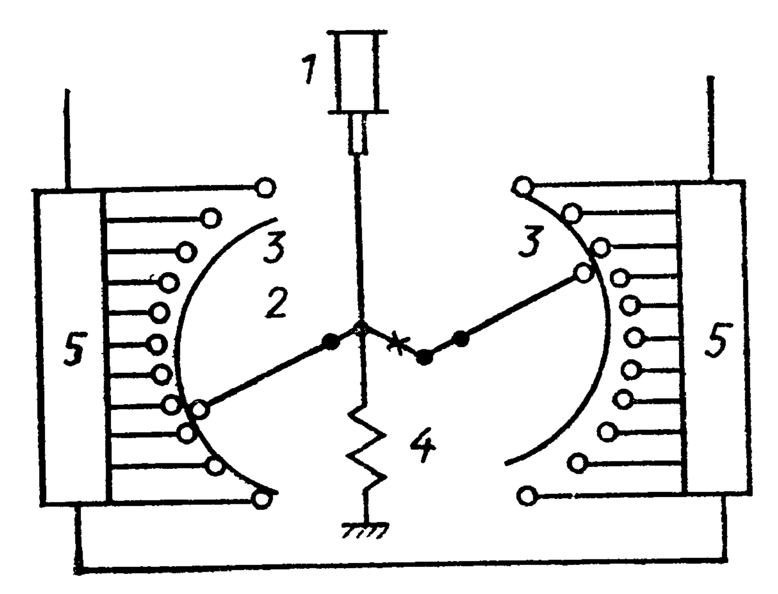


Рис. 134. Регулятор напряжения с контактным сектором:

1 — обмотка; *2* — штанга; *3* — плоская контактная пружина; *4* — возвратная пружина; *5* — резисторы

Регулятор напряжения с контактным сектором — электромеханический регулятор, предназначенный для регулирования напряжения генератора переменного тока.

Регулятор включается в цепь обмотки возбуждения генератора. Неподвижные контакты регулятора образуют два сектора, относительно которых перемещаются два подвижных контакта. Неподвижные контакты присоединены к отпайкам и выводам регулирующих реостатов, включенных в цепь обмотки возбуждения. При перемещении подвижного контакта шунтируется соответствующая часть регулировочного реостата, благодаря чему происходит изменение тока возбуждения генератора (рис. 134).

При одиночной работе генератора этот регулятор стабилизирует напряжение в обмотке якоря. При параллельной работе генераторов регулятор позволяет изменять значение реактивной мощности.

Регулятор переменного тока (повторный трансформатор).

Регулятор частоты вращения (регулирование частоты вращения).

Режим короткого замыкания трансформатора — режим работы трансформатора при питании хотя бы одной из обмоток от источника переменного тока при КЗ на зажимах одной из других обмоток.

При внезапном КЗ вторичной обмотки трансформатора в ней возникает ударный ток КЗ, который по истечении некоторого време-

ни снижается до значения установившегося тока КЗ. Амплитуда ударного тока КЗ может в 1,5—2,5 раза превышать амплитуду установившегося тока КЗ. При этом в обмотках трансформатора возникают значительные механические напряжения, обусловленные электродинамическим действием тока КЗ. Возникающие силы действуют в направлении, перпендикулярном направлению потоков рассеяния обмоток, прижимая нижнюю обмотку к стержню магнитной системы и отталкивая верхнюю обмотку от лежащей под ней обмотки. Одновременно на обмотки действуют механические усилия в аксиальном направлении.

Амплитудное значение установившегося тока КЗ ограничивается внутренним сопротивлением трансформатора, которое образуется из активного сопротивления и индуктивного сопротивления рассеяния обмоток и оценивается через напряжение КЗ $u_к$. При номинальном токе I_1 значение установившегося тока КЗ можно определить из выражения

$$I_к = I_1 \frac{100}{u_к}.$$

В трансформаторах с малым значением напряжения КЗ установившийся ток КЗ в 20—25 раз превышает номинальный ток. При этом происходит сильный нагрев обмоток трансформатора.

За счет увеличения потоков рассеяния можно увеличить напряжение КЗ и тем самым снизить значение тока КЗ. Этот прием используется в сварочных трансформаторах, работающих в режиме КЗ [4].

Режим нагрузки генератора — установившееся электрическое магнитное и тепловое состояние генератора, при котором получаемая в нем электрическая энергия отдается электропотребителям.

Сопротивление потребителей определяет уровень загрузки и значение тока генератора. Под действием тока нагрузки на обмотке генератора возникает падение напряжения, приводящее к снижению выходного напряжения относительно напряжения ненагруженного генератора. Протекающий через генератор ток создает тормозной момент, который преодолевается механически соединенным с ним первичным двигателем.

Режим нагрузки электродвигателя — режим работы электродвигателя, в котором механическая энергия с его вала передается на вал производственного механизма электропривода.

При нормальном режиме работы электродвигатель на любой частоте вращения должен создавать момент, равный моменту нагрузки или превышающий его. На практике почти все электродвигатели обладают способностью саморегулирования, в соответствии с которой увеличение нагрузки электродвигателя сопровождается снижением его частоты вращения и соответствующим увеличением развиваемого им момента. В результате после окончания переходного процесса наступает равновесие между моментом электродвигателя и моментом нагрузки при новом значении частоты вращения. Вышесказанное не относится к синхронным электродвигателям, частота вращения которых при изменении нагрузки практически не меняется.

Режим работы с импульсной нагрузкой (перемежающийся режим работы) — режим работы электродвигателя, характеризующийся периодическим набросом и сбросом нагрузки при постоянно

включенном двигателе. Время работы двигателя под нагрузкой существенно меньше времени, за которое температура двигателя достигает установившегося значения. В связи с тем что после сброса нагрузки двигатель продолжает работать на холостом ходу, температура активных частей практически не меняется [8].

Режим работы электрической вращающейся машины — установленный порядок чередования и продолжительности нагрузки, холостого хода, торможения, пуска и реверса электрической машины во время ее работы.

Основным является номинальный режим, при котором двигатель при номинальной частоте вращения имеет номинальную нагрузку. Отклонение от этого режима вследствие, например, увеличения числа пусков или перегрузки двигателя приводит к перегреву обмоток, к старению изоляции и к снижению срока службы машины.

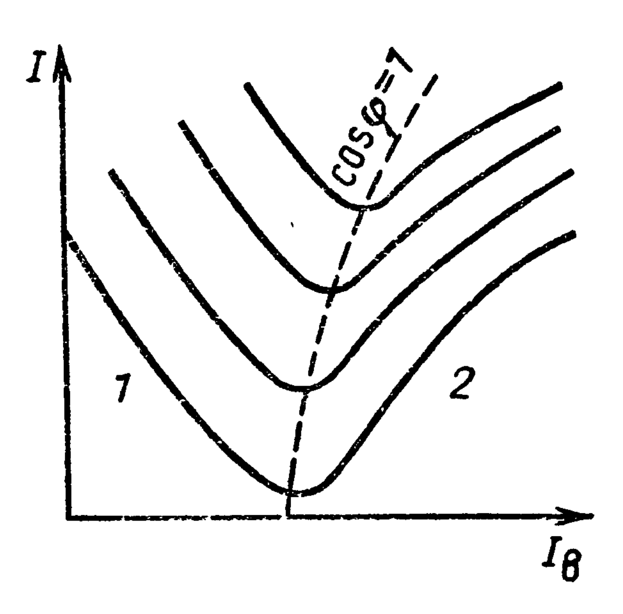


Рис. 135. Режим синхронного компенсатора:

1, 2 — области с индуктивной и емкостной составляющими тока нагрузки; I, $I_в$ — токи нагрузки и возбуждения

По этой причине допускается лишь кратковременная перегрузка машины, причем чем больше ее значение, тем меньше время, в течение которого машина может работать в этом режиме. Для электрических машин выделяют следующие режимы работы: номинальный продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный, перемежающийся [8].

Режим синхронного компенсатора — режим работы синхронной машины, в котором изменение сдвига фаз между током и напряжением обеспечивается путем регулирования тока возбуждения.

Если при неизменной нагрузке синхронного двигателя снизить ток его возбуждения, то в обмотке якоря появится индуктивная составляющая тока, т. е. двигатель наряду с потреблением активной станет потребителем реактивной мощности. При этом $\cos\varphi$ двигателя уменьшается. В случае изменения тока возбуждения в сторону увеличения происходит перевозбуждение двигателя и он проявляет себя как конденсатор, приобретая способность компенсировать реактивную мощность, создаваемую потребителями с индуктивным характером нагрузки. Это означает, что синхронная машина работает в режиме компенсатора. Из вышесказанного следует, что полный ток синхронного двигателя складывается из двух составляющих — активной, пропорциональной моменту нагрузки, и реактивной, пропорциональной току возбуждения. Указанное свойство синхронного двигателя отражается с помощью U-образной характеристики $I=f(I_в)$ (рис. 135).

Режим холостого хода трансформатора — режим работы транс-

форматора при питании одной из обмоток от источника переменного тока и не замкнутых на внешние цепи других обмоток.

В режиме холостого хода к первичной обмотке прикладывается номинальное напряжение, а ток во вторичной обмотке равен нулю. Протекающий в первичной обмотке ток незначителен и по существу является током намагничивания [4].

Резистор — элемент электрической цепи, предназначенный для использования его электрического сопротивления.

Резисторы используются для регулирования частоты вращения и напряжения электродвигателей и генераторов, для задания необходимого токового режима в различных электронных и полупроводниковых устройствах и т. д. Мощность резистора должна выбираться с учетом реальных потерь, выделяемых на нем в виде тепла [1].

Резонанс — явление, при котором сопротивление контура переменного тока, образованного индуктивностью и емкостью, становится чисто активным.

Резонанс возникает при последовательном и параллельном соединении конденсатора и индуктивности. В первом случае напряжение на каждом из реактивных элементов может в несколько раз превышать напряжение источника питания, вследствие чего имеет место резонанс напряжений. При этом активное сопротивление R контура меньше реактивного сопротивления емкости x_C и индуктивности x_L. При параллельном соединении последних ток в общей цепи, равный разности токов в ветвях, имеет минимальное значение, вследствие чего возникает *резонанс токов*, при этом $R > x_L$, x_C. В обоих случаях необходимым условием возникновения резонанса является равенство емкостного и индуктивного сопротивлений, т. е. $x_L = x_C$.

Условие резонанса может быть получено изменением емкости или (и) индуктивности реактивных элементов. На практике резонансы, как правило, получают изменением частоты питающего напряжения [1].

Рекуперативное торможение (асинхронный генератор; генератор постоянного тока) — электрическое торможение электродвигателя, при котором энергия отдается в питающую сеть [8].

Ременная передача (РП) — силовой элемент передаточного устройства электропривода, в котором передача вращающего момента осуществляется посредством замкнутого ремня, выполненного из кожи, резины или иного прочного и гибкого материала.

При использовании РП на вал электродвигателя и производственного механизма устанавливаются шкивы с кольцевыми пазами, в которые укладывается ремень. К недостаткам РП следует отнести большие габариты и проскальзывание относительно шкивов. Передача вращающего момента обеспечивается в РП за счет сил трения, возникающих между поверхностями ремня и шкивов. Для увеличения поверхности соприкосновения ремня со шкивом первый часто имеет V-образную форму. Аналогичную форму имеют пазы на шкивах. Для регулирования натяжения ремня используются шкивы с несколькими пазами различного радиуса, а для усиления РП применяют одновременно несколько ремней. С течением времени происходит срабатывание и вытягивание ремней, вследствие чего возникает необходимость в их замене.

Репульсионный двигатель (РД) — однофазный коллекторный двигатель, обмотка статора которого присоединена к источнику пе-

ременного тока, в котором имеются один или два комплекта щеток на коллекторе, замкнутые накоротко.

Статор РД аналогичен статору трехфазного асинхронного двигателя. Магнитопровод статора РД выполняется шихтованным, и на его поверхности расположены пазы для размещения обмотки. Ротор РД в конструктивном отношении аналогичен ротору машины постоянного тока. Регулирование частоты вращения РД осуществляется путем углового перемещения щеток по окружности ротора.

По количеству щеток и их пространственному расположению различают следующие РД:

с одним комплектом диаметрально расположенных щеток (рис. 136, *а*);

с двойными хордовыми щетками (рис. 136, *б*);

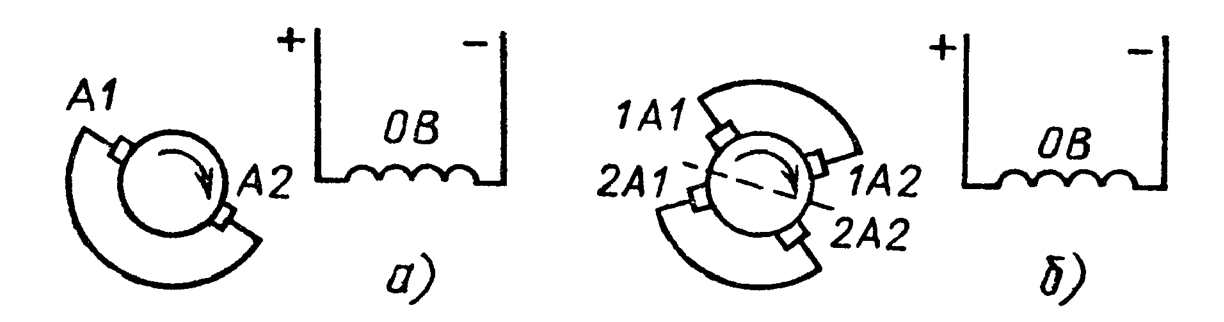


Рис. 136. Репульсионный двигатель:

а — диаметральные и *б* — двойные щетки

с двойными регулируемыми щетками (*двигатель Дери*).

В первых двух конструктивных вариантах РД расстояние между парой короткозамкнутых щеток остается при регулировании неизменным, т. е. происходит их синхронное угловое перемещение по окружности ротора. При подключении обмотки статора к сети переменного тока в обмотке ротора РД наводится ЭДС и через нее протекает ток, создающий вращающий момент. Для изменения значения тока в обмотке ротора необходимо изменить угловое положение щеток. Если ось обмотки ротора расположена под 90° к оси щеток, ЭДС в обмотке ротора равна нулю. При этом ток в короткозамкнутой цепи, образованной щетками, а следовательно, и момент двигателя равны нулю. При смещении щеток влево или вправо относительно оси обмотки ротора возникает вращающий момент соответствующих знака и величины. При увеличении угла поворота щеток происходит увеличение ЭДС, тока ротора и вращающего момента. Максимальное значение момента обеспечивается при угле 65—80°. При дальнейшем повороте щеток происходит снижение частоты вращения РД и резкое увеличение тока в обмотке статора. При угловом положении 90° частота вращения равна нулю и РД находится в режиме короткого замыкания, характеризующемся максимальными значениями тока обмоток статора и ротора. Во избежание перегрева РД режим короткого замыкания следует ограничивать по времени.

Обычно РД с двойными регулируемыми щетками используются в электроприводах подъемных кранов, а также в электромеханических приводах силовых выключателей. Верхний предел мощности РД ограничивается 4 кВт. Обычно РД с двойными хордовыми щетками используются в качестве тяговых двигателей и выполняются мощностью от 30 до 40 кВт. Основными преимуществами РД явля-

ются большой пусковой момент, в 1,5—4,5 раза превышающий номинальный, и возможность плавного разгона без каких-либо вспомогательных средств [2].

Реостатный пуск — технический прием, заключающийся в ограничении пускового тока при разгоне двигателя.

В зависимости от типа двигателя и используемых технических средств различают пусковые устройства и пусковые схемы, характеризующие процесс пуска (рис. 137).

В момент подключения обмотки двигателя к питающей сети (первая ступень пуска) имеет место резкое увеличение тока в обмотке до значения I_1, которое затем уменьшается до I_2 по мере увеличения частоты вращения двигателя. На следующей ступени пуска производится шунтирование пускового резистора, что приводит к повторному увеличению указанного тока, но до меньшего, чем I_1, значения I_3. Далее ток в обмотке снова начинает уменьшаться и достигает установившегося значения I_4, соответствующего моменту нагрузки двигателя. Процесс пуска оценивают такими критериями, как тяжесть пуска, время пуска, количество, частота пусков.

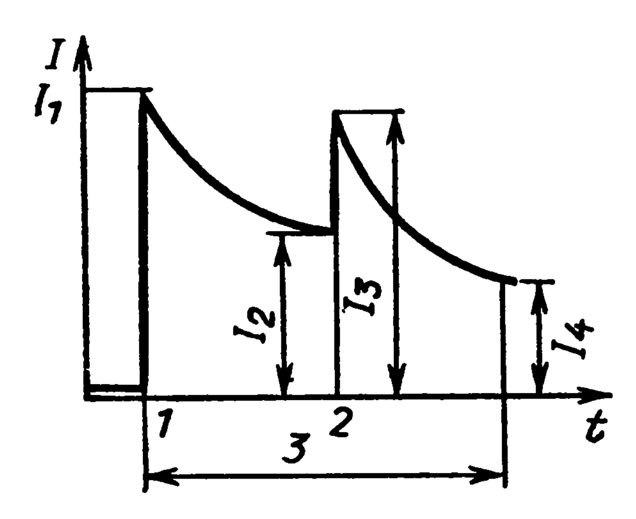


Рис. 137. Реостатный пуск:

1 — первая и *2* — вторая ступени пуска; *3* — время пуска: *I* — ток; I_1 — максимальное значение тока; I_2 — значение тока перед закорачиванием реостата; I_3 — значение тока после закорачивания реостата; I_4 — установившееся значение тока

Ротор с вытеснением тока — шихтованный ротор асинхронного двигателя, в пазы которого уложены одна или несколько стержневых короткозамкнутых обмоток с различным сечением стержней.

Эффект вытеснения тока в роторе асинхронного двигателя может быть получен не только за счет изменения сечения стержней, но и за счет соответствующего выбора их формы и размещения в пазах ротора, т. е. в так называемых *двигателях с глубокопазным ротором*. Стержень короткозамкнутой обмотки имеет прямоугольную форму и вложен в паз меньшей стороной. При подключении обмотки статора двигателя к трехфазной сети переменного тока в воздушном зазоре возникает вращающееся электромагнитное поле, которое наводит ЭДС в стержнях обмотки. В этот момент времени ротор неподвижен и частота тока в его обмотке максимальна, что приводит к вытеснению тока к основанию стержня, т. е. к увеличению эквивалентного сопротивления каждого стержня и обмотки в целом. По мере разгона ротора частота тока в стержнях обмотки падает, благодаря чему происходит перераспределение тока в пределах всего сечения стержня, что эквивалентно снижению сопротивления короткозамкнутой обмотки двигателя. Таким образом, с увеличением частоты вращения ротора происходит автоматическое снижение сопротивления короткозамкнутой обмотки и выход двигателя на естественную механическую характеристику. В момент

пуска двигателя по указанной выше причине снижается пусковой ток и увеличивается пусковой момент двигателя.

Хорошими пусковыми характеристиками обладают асинхронные двигатели, имеющие на роторе короткозамкнутую обмотку, выполненную в виде двойной беличьей клетки. Эти обмотки изготовляются из материала с высоким и низким удельным сопротивлением и не имеют гальванической связи между собой. При запуске двигателя сначала ток протекает по внешней клетке с меньшим сечением стержней, а после разгона — по внутренней клетке с бо́льшим сечением стержней.

Ротор с глубоким пазом (ротор с вытеснением тока).

Ротор с явновыраженными полюсами — индуктор синхронной машины обычного (не обращенного) исполнения, имеющий ярмо, по окружности которого расположены полюсы, на которых крепится сосредоточенная обмотка возбуждения. На торцах полюсов закрепляются полюсные башмаки, удерживающие обмотку на сердечнике и формирующие МДС синусоидальной формы в воздушном зазоре. Ввиду возникновения в полюсах значительных механических напряжений, обусловленных вращением ротора, машины с явновыраженными полюсами используются на частотах вращения не выше 1500 об/мин. По этой причине их также называют *гидрогенераторами.*

Ручной привод — одна из разновидностей привода, в котором используется мускульная сила человека для воздействия на исполнительный орган коммутационных аппаратов высокого и низкого напряжения с целью их включения и отключения.

В ручной привод, как правило, входят штанга или зубчатое колесо с рейкой, позволяющие уменьшить усилие, затрачиваемое оператором на приведение в действие механизма коммутационного аппарата. Наиболее часто ручной привод выполняется таким образом, что действия оператора приводят к изменению состояния кинематической схемы механизма, в котором запасена потенциальная энергия, накопленная в различного типа пружинах. Под действием указанной энергии обеспечивается также скачкообразное размыкание главных контактов, что позволяет повысить срок их службы. Для повышения четкости и надежности работы во многих случаях требуется периодическая регулировка ручного привода.

С

Самоблокировка — схема электропитания электрического коммутационного аппарата (реле, контакторов, пускателей и т. д.), обеспечивающая поддержание его во включенном состоянии после снятия команды на включение (рис. 138).

Представленный на рис. 138 контактор с обмоткой *К* и силовыми контактами *4* управляется с помощью кнопок *1* и *2*. При нажатии на кнопку *2* («Пуск») через обмотку контактора и две соединенные последовательно кнопки управления протекает электрический ток. Якорь контактора притягивается, что приводит к замыканию силовых контактов *4* и блок-контакта *3*, включенного параллельно кнопке *2*. После этого кнопка *2* может быть отпущена, поскольку питание обмотки контактора осуществляется через его же блок-контакт. Отключение контактора производится нажатием на кнопку

1 («Стоп»), что приводит к разрыву цепи питания обмотки. Разомкнувшийся при отключении контактора блок-контакт препятствует включению контактора после возвращения кнопки «Стоп» в исходное, замкнутое состояние. Для включения контактора вновь следует нажать кнопку *2*.

Самовозбуждение — разновидность электромагнитного возбуждения электрического генератора, в котором генератор сам производит энергию, необходимую для его возбуждения.

Мощность возбуждения составляет, как правило, 2—5 % мощности электрической машины. Принцип самовозбуждения основан на использовании остаточного намагничивания главных полюсов, благодаря чему при вращении ротора в обмотке якоря наводится

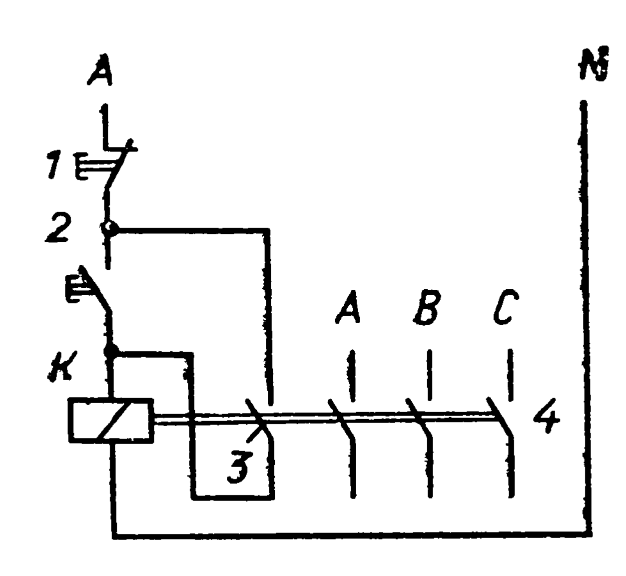


Рис. 138. Самоблокировка:

1, 2 — кнопки «Стоп» и «Пуск»; *3* — блок-контакт; *4* — силовые контакты; *К* — контактор

ЭДС. Если напряжение с обмотки якоря подать на обмотку возбуждения, то произойдет дополнительное увеличение потока возбуждения, а следовательно, увеличится напряжение на зажимах обмотки якоря вплоть до номинального значения напряжения. Этот принцип саморегулирования впервые был обнаружен в 1886 г. Вернером Сименсом и широко используется в современных крупных машинах.

Для питания обмотки возбуждения от обмотки якоря необходимо использовать контактные кольца. В зависимости от схемы включения обмотки возбуждения относительно обмотки якоря различают схемы с последовательным, параллельным и смешанным возбуждением.

После начала самовозбуждения возникающий в обмотке возбуждения ток производит дополнительное подмагничивание полюсов, что ускоряет процесс самовозбуждения машины. В случае неправильного включения обмотки возбуждения протекающий по ней в начале самовозбуждения ток приведет к размагничиванию полюсов, т. е. к снятию их остаточного намагничивания, вследствие чего генератор не может возбудиться. Для приведения его в рабочее состояние необходимо намагнитить полюсы от внешнего источника постоянного тока.

Самоиндукция — электромагнитная индукция, вызванная изменением сцепляющегося с контуром магнитного потока, обусловленного электрическим током в этом контуре.

При подключении катушки к источнику питания через нее начинает протекать электрический ток, создающий магнитный поток, сцепляющийся с витками катушки. При изменении тока, а следовательно, и потока в контуре наводится ЭДС самоиндукции, препят-

ствующая изменению тока в контуре. Таким образом, ЭДС самоиндукции всегда направлена навстречу протекающему току и имеет знак минус [1]:

$$E = -L\frac{di}{dt}.$$

Самотормозящийся двигатель — двигатель специальной конструкции, самостоятельно останавливающийся сразу же после его отключения от питающей сети.

У самотормозящегося двигателя статор и ротор имеют сопрягающиеся участки конической формы, причем ротор прижимается к статору посредством цилиндрической пружины. При подключении двигателя к питающей сети ротор смещается в аксиальном направлении относительно статора и освобождает тормозной диск, после чего приходит во вращение. При отключении двигателя ротор смещается в обратном направлении и его край прижимается к тормозному диску, что приводит к быстрой остановке ротора. Самотормозящиеся двигатели используются в электроприводах грузоподъемных механизмов небольшой мощности.

Сборочные шины параллельно работающих трансформаторов (параллельная работа трансформаторов).

Сварочный генератор (генератор постоянного тока смешанного возбуждения).

Сварочный трансформатор — трансформатор специального исполнения, предназначенный для электродуговой сварки и имеющий специальную нагрузочную характеристику, благодаря которой при снижении напряжения вторичной обмотки и возникновения электрической дуги между электродами ток в межэлектродном промежутке увеличивается по мере увеличения расстояния между электродами. В режиме холостого хода напряжение вторичной обмотки составляет 60—80 В. При токе нагрузки 100—500 А напряжение вторичной обмотки падает до 15—35 В. Сварочные трансформаторы изготовляются с большой индуктивностью рассеяния, что позволяет ограничить ток короткого замыкания. Регулирование напряжения вторичной обмотки осуществляется изменением длины воздушного зазора в магнитной системе либо изменением взаимного положения первичной и вторичной обмоток [4].

Свойства измерительных трансформаторов — трансформаторов тока и напряжения (при изменении сопротивления цепи вторичной обмотки).

Изменение значения сопротивления, включенного в цепь вторичной обмотки измерительных трансформаторов, не приводит к изменению тока и напряжения первичной обмотки, поскольку трансформаторы подключаются к мощной питающей сети.

Увеличение сопротивления в цепи вторичной обмотки трансформатора напряжения приводит к снижению тока первичной и вторичной обмоток. Увеличение сопротивления в цепи вторичной обмотки трансформатора тока приводит к увеличению его входного сопротивления и как следствие — к увеличению падения напряжения в первичной обмотке трансформатора тока. При разрыве цепи вторичной обмотки трансформатора тока происходит резкое увеличение падения напряжения в первичной обмотке, приводящее к сильному намагничиванию магнитной системы, что повышает потери в стали и вероятность возгорания трансформатора тока. В этом

режиме работы трансформатора тока на его вторичной обмотке появляется опасное для жизни человека напряжение. По этой причине следует избегать размыкания цепи вторичной обмотки трансформатора тока.

Сглаживающий дроссель (уравнительный дроссель).

Сдвиг фаз — временной сдвиг моментов прохождения через нуль мгновенных значений токов и (или) напряжений в многофазных и однофазных цепях переменного тока.

В многофазных цепях переменного тока сдвиг фаз имеет место как между фазными напряжениями и токами, так и между током и напряжением одной фазы. В первом случае сдвиг фаз имеет фиксированное значение, во втором зависит от индуктивности или емкости нагрузки.

Сдвиг фаз между током и напряжением (коэффициент мощности).

Секционная катушка — катушка трансформатора, состоящая из двух секций с равным числом витков, намотанных встречно и включенных последовательно (рис. 139). Каркас такой катушки состоит из двух частей.

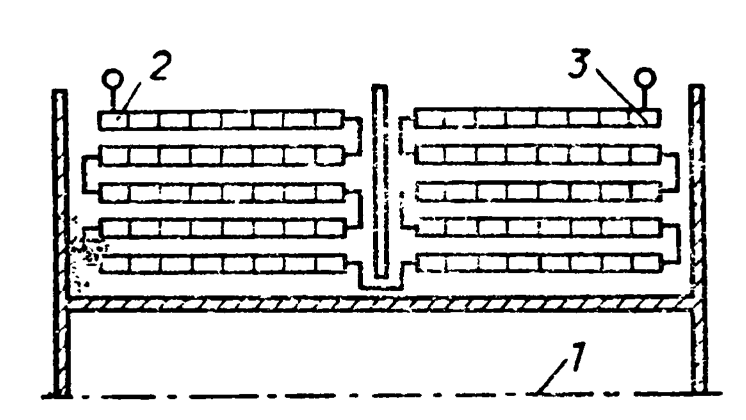


Рис. 139. Секционная катушка:

1 — ось катушки; *2* — первый виток первой и *3* — последний виток последней секций

Серводвигатель — электродвигатель, выполняющий вспомогательные функции в электроприводе. Серводвигатели бывают постоянного тока, одно- и трехфазного переменного тока и используются в качестве усилителей в системах автоматики. Они могут приводить в движение механизмы регуляторов различного типа [2].

Сердечник полюса (индуктор электрической машины).

Сетевой трансформатор — трехфазный трансформатор переменного тока, преобразующий напряжение в 380 и 220 кВ линии электропередачи в напряжение 110 кВ, подаваемое в распределительную сеть. Последняя может быть выполнена на напряжения 30, 20 и 15 кВ.

Сериесная характеристика (момент электродвигателя).

Сила тока — физическая величина, используемая для количественной оценки электрического тока.

Условное обозначение — I, единица измерения — ампер (А):

$$I = \frac{dQ}{dt},$$

где Q — количество электричества; t — время.

Ниже приведены данные по току некоторых устройств:

Телефонный аппарат	$(20\div50)\cdot10^{-6}$ А
Лампа накаливания	$(100\div800)\cdot10^{-3}$ А
Тяговый двигатель трамвая . .	$200\div400$ А
Электроплавильная печь	$(120\div150)\cdot10^{3}$ А

Силовое действие магнитного поля распространяется как на ферромагнитные вещества, так и на проводники с током.

В первом случае оно проявляется в притягивании частиц магнитомягкого материала к постоянному магниту. Этот эффект широко используется в коммутационных аппаратах (реле, контакторах и т. п.) и в различных электромагнитных устройствах (электромагнитных клапанах, электромагнитных плитах и т. п.).

Во втором случае проводник с током, помещенный во внешнее магнитное поле (рис. 140, *а*) и имеющий собственное магнитное поле, искажает внешнее магнитное поле (рис. 140, *б*). Это приводит к ослаблению магнитного поля с одной стороны проводника и к усилению поля с другой его стороны. При этом на проводник действует сила F, значение которой пропорционально индукции B магнитного поля, активной длине l проводника и значению тока I в нем, т. е.

$$F = BlI.$$

На этом принципе работают вращающиеся электрические машины.

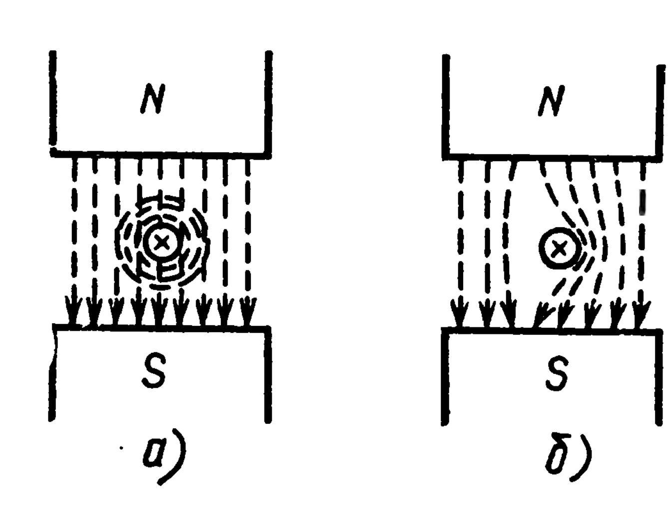


Рис. 140. Силовое действие магнитного поля

Силовое действие магнитного поля проявляется также и в том случае, если по двум расположенным параллельно проводникам протекает электрический ток. Указанные токи создают вокруг проводников магнитные поля, взаимодействие которых приводит к тому, что при одинаковом направлении токов проводники смещаются в направлении друг к другу, а при разных направлениях токов проводники смещаются в обратном направлении. Наиболее значительными эти усилия оказываются при протекании через проводники токов короткого замыкания, что может привести к их повреждению.

Силовой выключатель (СВ) — выключатель, предназначенный для коммутации под нагрузкой электрических цепей высокого и низкого напряжения.

Выключатель должен без каких-либо повреждений отключать электрические цепи с номинальным значением тока и с током короткого замыкания до нескольких тысяч ампер. Силовые выключатели постоянного тока имеют контактную систему с двумя контактами, а СВ переменного тока — с тремя.

Выключатель низкого напряжения содержит основание из электроизоляционного материала, приводной механизм, контактную систему с главными и вспомогательными контактами. Вспомогательные контакты при включении и отключении СВ соответственно замыкаются раньше, а размыкаются позже главных контактов, т. е. обеспечивают бездуговую коммутацию главных контактов. Благодаря этому повышается их срок службы. Механизм СВ снабжен упругим

элементом, обеспечивающим независимость скорости размыкания контактов СВ от значения и характера изменения усилия, прикладываемого к органу управления. Приводной механизм СВ часто оснащается электромагнитным расцепителем, отключающим СВ при перегрузке и коротких замыканиях. В СВ высокого напряжения контактная система часто помещается в камеру с маслом, что облегчает процесс дугогашения и снижает износ контактов (рис. 141). При отключении СВ возникающая на его контактах электрическая дуга нагревает масло и образующиеся при этом пары увеличивают давление в указанной камере, что способствует быстрому гашению дуги. В СВ с воздушной дугогасительной системой отключение СВ сопровождается увеличением скорости воздушного потока между размыкающимися контактами, благодаря чему ионизированные молекулы воздуха удаляются из межконтактного промежутка, т. е. восстанавливается электрическая прочность воздуха. При достаточ-

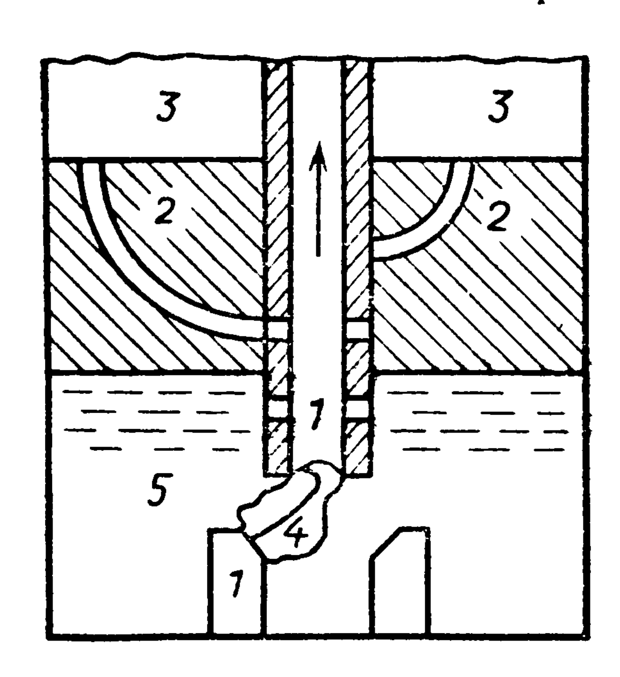


Рис. 141. Силовой выключатель:

1 — неподвижный и подвижный контакты; *2* — оправка для подвижного контакта с газоотводными каналами; *3* — камера приема газа; *4* — дуга в масляном пузыре; *5* — масло

но большом расстоянии между контактами и переходе переменного тока через нуль электрическая дуга гаснет. В конструктивном отношении СВ отличаются большим многообразием по выполнению контактной и дугогасительной систем, приводного механизма и т. д. В СВ с воздушной дугогасительной системой камера с контактами в новейших моделях заполняется под давлением газовой смесью типа SF_6, обладающей высокой деионизационной способностью. Для облегчения гашения дуги и снижения износа контактов последние могут шунтироваться цепочками из соединенных последовательно высокоомного резистора и конденсатора. Для повышения коммутационной способности мощных высоковольтных СВ используют последовательное соединение нескольких групп контактов, синхронно перемещающихся от общего приводного механизма [5].

Силовой трансформатор — трансформатор, предназначенный для преобразования электрической энергии в электрических сетях и установках, предназначенных для приема и использования электрической энергии.

Трансформатор выполняется трехфазным с напряжением первичной обмотки 30, 20 и 15 кВ и напряжением вторичной обмотки 0,4 кВ, причем первичная обмотка всегда является обмоткой высокого напряжения.

При мощности от 100 до 1600 кВ·А силовой трансформатор устанавливается на трансформаторной подстанции. Для компенсации

колебаний напряжения на вторичной обмотке используется переключатель отпаек. Ввиду того что вероятность несимметричной загрузки трансформатора остается весьма высокой, рекомендуется использовать группы соединения обмоток ДУ-5 и УZ-5 [4].

Сименс — единица измерения проводимости. Условное обозначение — См.

Проводимость участка электрической цепи составляет 1 См, если при протекании через него тока в 1 А на нем возникает падение напряжения в 1 В.

Единица названа в честь немецкого инженера Вернера Сименса (1816—1892) [11].

Симисторный регулятор — совокупность элементов электрической цепи, предназначенных для регулирования частоты вращения универсального коллекторного двигателя.

С помощью переменного резистора R_2 (рис. 142) частота вращения двигателя может плавно меняться от нулевого до номинального значения. Силовым регулирующим элементом является полупроводниковый ключ переменного тока, называемый *симистором С*. Симистор эквивалентен двум встречно-параллельно включенным тиристорам, благодаря чему он пропускает обе полуволны переменного напряжения. В цепь управления симистора включен динистор *Д*, пробой которого приводит к включению симистора.

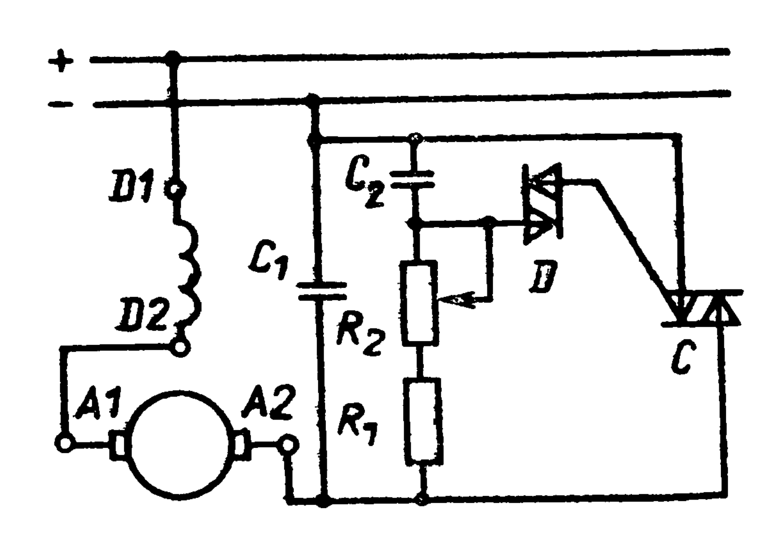


Рис. 142. Симисторный регулятор

Симметричная нагрузка — нагрузка, равномерно распределенная по фазам трехфазной сети переменного тока или трехфазного трансформатора. При симметричной нагрузке фазные токи равны по значению, а сдвиг между ними составляет 120°. При гальваническом соединении концов фазных обмоток электрической машины переменного тока напряжение между точкой их соединения и нулевым проводом или «землей» равно нулю. При подключении к питающей сети однофазных потребителей возникает режим несимметричной нагрузки (нагрузка несимметричная).

Синхронизация — процесс, при котором синхронная машина приводится к синхронной и синфазной работе с другой, механически не связанной с ней, синхронной машиной или сетью.

Для включения трехфазных синхронных машин на параллельную работу необходимо обеспечить равенство напряжений обмоток якоря по амплитуде, частоте и фазе. Выравнивание амплитуд напряжений производится изменением тока возбуждения, выравнивание частот — изменением частоты вращения первичного двигателя. Выравнивание фаз осуществляется в зависимости от знака рассогла-

сования кратковременным торможением или ускорением вала генератора.

Контроль синхронизации производится с помощью сдвоенных измерителей амплитуды и частоты напряжения генераторов или с помощью ламп накаливания. Для генераторов большой мощности с этой целью используются *синхроскопы* [8].

Синхронная машина — бесколлекторная машина переменного тока, у которой при постоянном токе обмотки возбуждения магнитное поле, участвующее в основном процессе преобразования энергии, неподвижно относительно индуктора.

По способу возбуждения различают синхронные машины, возбуждаемые постоянным и переменным током, а в конструктивном отношении — с внутренними и внешними полюсами [2].

Синхронная машина с внутренними полюсами — синхронная машина, в которой обмотка возбуждения расположена на роторе, а обмотка якоря (как правило, трехфазная обмотка переменного тока) — на статоре.

Постоянный ток в обмотку возбуждения (индуктор) подается через систему контактных колец и щеток. В однофазных машинах обмотка якоря занимает $^2/_3$ окружности статора, в трехфазных машинах фазные обмотки расположены по окружности статора с угловым сдвигом в 120°. В конструктивном отношении индукторы разделяются на явнополюсные и неявнополюсные. В синхронных машинах с внутренними полюсами через механические контакты передается только мощность возбуждения, что позволяет изготовлять их в отличие от машин с внешними полюсами на большие мощности [2].

Синхронная частота вращения (частота вращения электромагнитного поля; скольжение).

Синхронный генератор (СГ) — синхронная машина, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую.

Наиболее распространенным вариантом конструктивного исполнения СГ является конструкция с внутренними полюсами, установленными на валу ротора. Обмотка возбуждения подключается к источнику постоянного тока с помощью двух контактных колец со щетками. При вращении индуктора в рабочем воздушном зазоре СГ возникает вращающееся электромагнитное поле, которое наводит ЭДС в обмотке якоря (статора). Частота напряжения в обмотке якоря прямо пропорциональна частоте вращения n ротора и числу пар $2p$ полюсов индуктора, т. е.

$$f = n2p.$$

Наибольшее распространение получила частота $f=50$ Гц. При использовании частот вращения индуктора, равных 3000, 1500 и 1000 об/мин, указанная частота выходного напряжения может быть получена при $2p=1$, 2 и 3. Регулирование напряжения на обмотке якоря СГ осуществляется путем изменения тока возбуждения, поскольку изменение частоты вращения ротора приведет к одновременному изменению частоты выходного напряжения СГ.

Ток нагрузки создает в обмотке якоря СГ дополнительное вращающееся электромагнитное поле, имеющее те же направление и частоту вращения, что и основное поле возбуждения, т. е. оба поля вращаются синхронно. При работе в автономном режиме выходное напряжение СГ зависит от значения и характера (емкостный, индуктивный, активный) нагрузки. При подключении к обмот-

ке якоря СГ нагрузки активного и индуктивного характера увеличение тока нагрузки сопровождается снижением выходного напряжения. Нагрузка емкостного харктера приводит к увеличению выходного напряжения СГ (рис. 143, *а*).

Активная составляющая тока нагрузки СГ создает тормозной момент, приложенный к валу первичного двигателя, приводящего во вращение ротор СГ. При этом между полем возбуждения и полем якоря, вращающимися с синхронной частотой, возникает угловое рассогласование β или рассогласование по фазе (рис. 143, *б*).

При коротком замыкании СГ через обмотку якоря протекает большой ток, который может привести к перегреву СГ. Поэтому

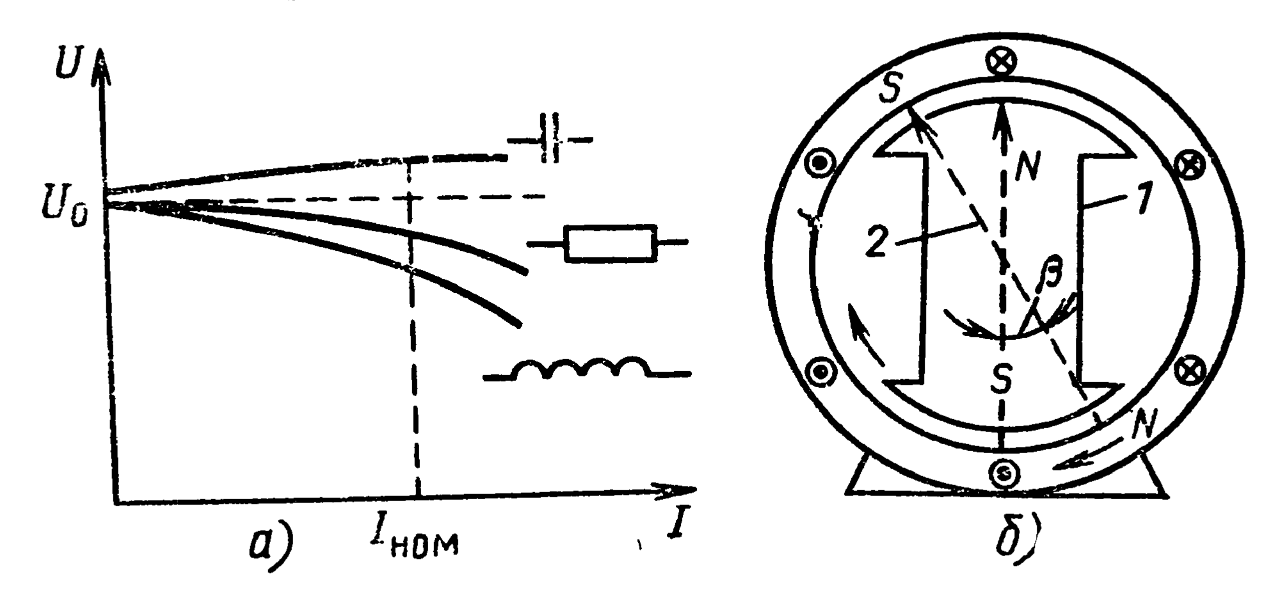


Рис. 143. Синхронный генератор:

а — внешняя характеристика; *б* — конструкция двухполюсной магнитной системы; *1* — ось магнитного поля возбуждения; *2* — ось вращающегося магнитного поля

в случае короткого замыкания ток возбуждения должен быть снижен до нулевого значения за минимальное время. Сохраняющееся в этом режиме напряжение в обмотке якоря СГ незначительно и обусловлено остаточным намагничиванием индуктора. После снятия возбуждения следует отсоединить вал СГ от первичного двигателя, поскольку активная составляющая тока короткого замыкания создает значительный тормозной момент на валу СГ, что может привести к повреждению передаточного устройства [2].

Синхронный генератор с компаундированием (СГК) — синхронный генератор с самовозбуждением, напряжение на обмотке якоря которого поддерживается на заданном уровне в широком диапазоне изменения нагрузки; состоит из собственно синхронного генератора с внутренними полюсами и вращающегося возбудителя. Конструктивно генератор и возбудитель расположены в одном корпусе и имеют отдельные магнитопроводы как статора, так и ротора (рис. 144). Возбудитель содержит на статоре основную и дополнительные обмотки возбуждения и обмотку коррекции. Основная обмотка возбуждения возбудителя включена в трехфазный резонансный контур, образованный дросселями с воздушным зазором в магнитной системе и конденсаторами. Обмотка якоря возбудителя через диоды подключена к обмотке возбуждения синхронного генератора.

При вращении ротора СГК от первичного двигателя на его обмотке якоря наводится небольшая ЭДС, обусловленная остаточным намагничиванием индуктора синхронного генератора. Возникающий в обмотке дросселя ток приводит к резкому увеличению тока в ос-

новной обмотке возбуждения генератора вследствие резонансного эффекта в указанном контуре. Образующиеся в основной обмотке возбуждения токи создают вращающееся электромагнитное поле, направление вращения которого противоположно направлению вращения вала СГК. Указанное электромагнитное поле наводит ЭДС в обмотке якоря возбудителя, которая после выпрямления подается на обмотку возбуждения синхронного генератора. В результате СГК возбуждается и напряжение на обмотке якоря достигает номинального значения. При подключении СГК к нагрузке протекающий через дополнительную обмотку возбуждения возбудителя ток нагрузки создает дополнительное подмагничивание СГК, что позволяет скомпенсировать падение напряжения от тока нагрузки на обмотке якоря синхронного генератора и размагничивающее действие этого же тока на поток возбуждения [2].

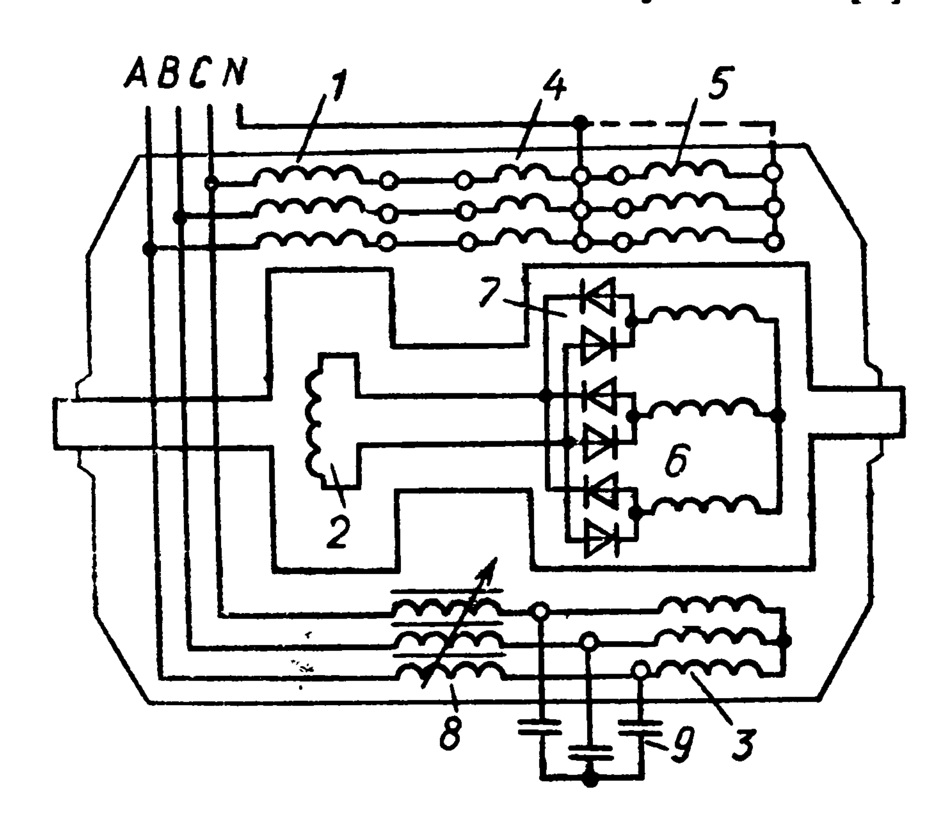


Рис. 144. Синхронный генератор с компаундированием:

1, 2 — обмотки якоря и возбуждения генератора; *3, 4* — основная и дополнительная обмотки возбуждения возбудителя; *5* — обмотка коррекции; *6* — обмотка якоря возбудителя; *7* — выпрямитель; *8* — дроссель с воздушным зазором; *9* — резонансные конденсаторы

Синхронный двигатель (СД) — синхронная машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую.

Синхронный двигатель не может запуститься самостоятельно, поскольку вращающееся трехфазное электромагнитное поле, созданное обмоткой якоря, не в состоянии увлечь за собой ротор, обладающий значительным моментом инерции. На роторе отсутствуют замкнутые обмотки (как в асинхронном двигателе), токи которых через созданное ими магнитное поле создают вращающий момент. При разгоне индуктора (от постороннего двигателя или раскручиванием вручную) двигатель может разогнаться до подсинхронной частоты вращения с последующим втягиванием в синхронизм. Частота вращения n двигателя прямо пропорциональна частоте f питающего напряжения и обратно пропорциональна числу пар $2p$ полюсов, т. е.

$$n = f/2p.$$

Регулирование частоты вращения СД возможно только путем изменения частоты напряжения переменного тока, поскольку частота вращения двигателя жестко связана с частотой напряжения и не зависит от значения нагрузки.

При увеличении момента нагрузки на валу СД между магнит-

ными полями возбуждения и якоря появляется угловой сдвиг β, вследствие чего между напряжением питания и ЭДС двигателя возникает фазовый сдвиг, т. е. угол между напряжением и ЭДС становится меньше 180° (рис. 145). Полное напряжение на обмотке якоря равно геометрической сумме указанных напряжения и ЭДС. Под действием полного напряжения в обмотке якоря протекает активная составляющая тока, участвующая в создании электромагнитного вращающего момента. Обычно СД потребляет из питающей сети активную мощность.

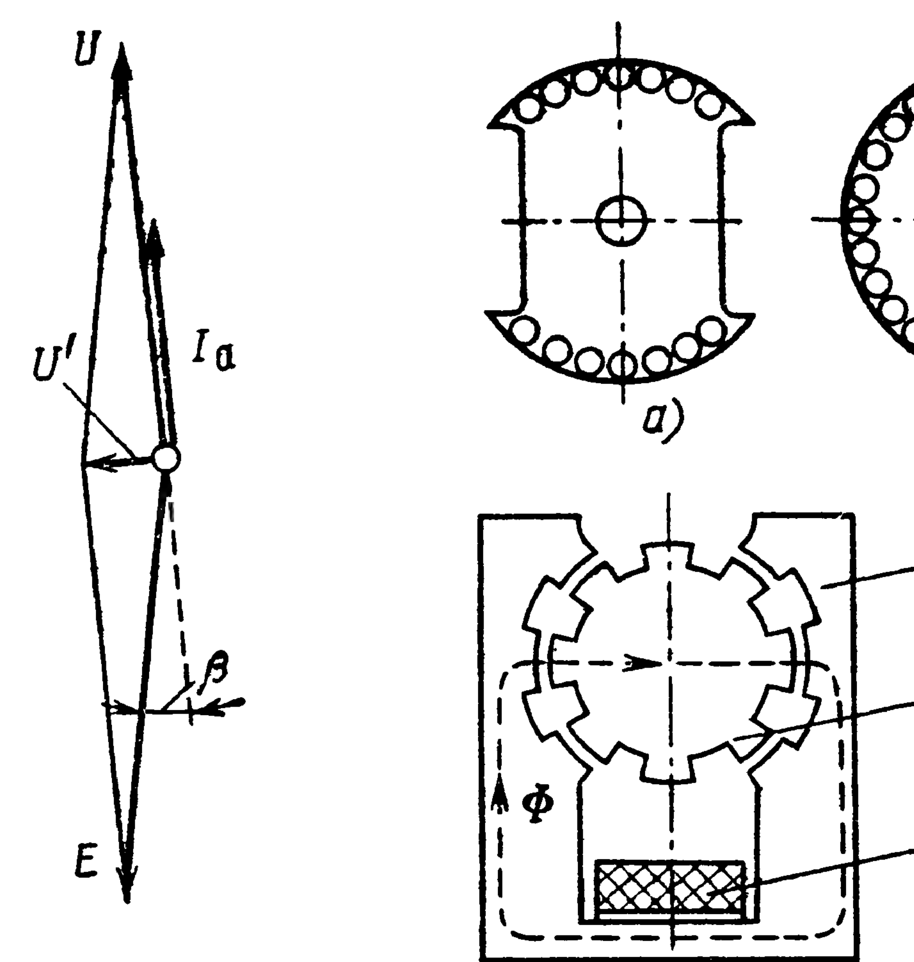


Рис. 145. Синхронный двигатель

Рис. 146. Синхронный реактивный двигатель:

а — ротор; *б* — воздушные пазы на роторе; *в* — статор с зубцами: *1* — статор; *2* — ротор с зубцами; *3* — обмотка возбуждения

При перегрузке СД происходит чрезмерное увеличение углового сдвига β, СД исчерпывает свой запас устойчивости и опрокидывается, после чего он выпадает из синхронизма и останавливается под действием момента нагрузки. Ток в обмотке якоря в этом случае имеет максимальное значение.

При увеличении тока возбуждения выше номинального значения СД может работать в режиме синхронного компенсатора, отдавая реактивную мощность в питающую сеть. Как правило, СД используется в широком диапазоне мощностей в электроприводах насосов, вентиляторов, гребных винтов морских судов, прокатных станов и т. п. На компрессорных станциях при пониженном расходе сжатого воздуха СД работают в режиме генератора, а при пиковых нагрузках — в режиме двигателя. Кроме того, СД используются в часовых программных механизмах, причем в этом случае они

возбуждаются от постоянных магнитов. Невозможность самостоятельного запуска устраняется в СД с короткозамкнутой обмоткой на роторе. В этом случае становится возможным асинхронный пуск СД с последующим втягиванием его в синхронизм после подачи постоянного тока в обмотку возбуждения. Часть стержней короткозамкнутой обмотки, расположенных на полюсах индуктора СД, выполняют функцию демпферной обмотки [2].

Синхронный двигатель с постоянными магнитами — синхронный двигатель, поток возбуждения которого создается постоянными магнитами.

Статор такого двигателя ничем не отличается от статора асинхронного двигателя. Обмотка статора выполняется трехфазной, реже двухфазной, причем в последнем случае к ней подключаются фазосдвигающие конденсаторы или статор выполняется с экранированными полюсами. Двигатели выполняются на напряжения 12, 24, 42 и 220 В. На роторе устанавливается кольцевой постоянный магнит или постоянный магнит типа «звездочка».

Существуют следующие способы запуска синхронных двигателей с постоянными магнитами:

самостоятельный запуск, применяющийся для двигателей малой мощности (не более 1 Вт) с низким значением момента инерции ротора;

механический пуск, при котором ротор двигателя, приходя в колебательное движение в момент подачи питающего напряжения на обмотку статора, увеличивает амплитуду колебаний с помощью пружины;

асинхронный пуск [2].

Синхронный реактивный двигатель (СРД) — синхронный двигатель с явновыраженными ферромагнитными полюсами без обмотки возбуждения и постоянных магнитов на роторе, вращающий момент которого создается в результате неравенства магнитных проводимостей по продольной и поперечной осям машины.

Статор СРД выполнен так же, как и статор асинхронного двигателя (одно- или трехфазного). Ротор СРД содержит короткозамкнутую обмотку, расположенную на поверхности полюсов (рис. 146, *а*). Благодаря указанной геометрии ротора магнитная проводимость по продольной оси значительно больше магнитной проводимости по поперечной оси машины. Аналогичный эффект может быть получен и в роторе цилиндрической формы, параллельно продольной оси которого расположены дугообразные пазы (рис. 146, *б*), увеличивающие его магнитное сопротивление по поперечной оси. Для получения низкой частоты вращения СРД на поверхностях статора и ротора выполняются зубцы (рис. 146, *в*). Как правило, СРД выполняются на небольшую мощность и широко используются в реле времени, программно-временных задатчиках, в звуковоспроизводящей аппаратуре (проигрывателях) и т. п. Кроме того, СРД мощностью до 10 кВт используются в текстильной промышленности. Однозначное соответствие частоты вращения СРД частоте и значению напряжения питающей сети позволяет их использовать в многодвигательных электроприводах с одинаковой частотой вращения отдельных двигателей [3].

Синхроскоп — прибор для контроля синхронизации включаемых на параллельную работу трехфазных синхронных генераторов.

Синхроскоп содержит блок сравнения фаз напряжений генераторов, выходной сигнал которого подается на стрелочный индика-

тор со средним положением стрелки относительно шкалы. Отклонение стрелки влево или вправо означает соответственно отставание или опережение частоты вращения одного генератора относительно другого. Кроме того, в синхроскопе производится измерение частоты напряжений обоих генераторов и контроль синфазности напряжений с помощью ламп накаливания. При синхронности и синфазности напряжений генераторов стрелка неподвижна и находится в середине шкалы. Лампы накаливания светят ровным светом.

Система управления — совокупность логических элементов, интегрирующих, дифференцирующих и прочих звеньев, датчиков, предназначенная для управления электроприводом или любым другим автоматическим устройством.

В настоящее время система управления составляется из отдельных функциональных блоков, таких, например, как блок контроля, блок задания, блок памяти, блок защиты и т. п. Работоспособность указанных блоков обеспечивается с помощью блока питания.

Скольжение — отношение между частотой вращения магнитного поля и частотой вращения ротора машины переменного тока к частоте вращения магнитного поля.

Условное обозначение — s:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0},$$

где ω_0 — частота вращения магнитного поля; ω — частота вращения ротора.

У асинхронных двигателей скольжение составляет 3—8 % частоты вращения магнитного поля [8].

Слой обмотки — одна из активных частей катушки обмотки электрической машины. Различают одно- и многослойные обмотки, которые используются в машинах постоянного и переменного тока.

Смешанное возбуждение — электромагнитное возбуждение машины постоянного тока, в которой обмотка возбуждения состоит из двух секций, одна из которых включена параллельно обмотке якоря, а другая — последовательно с ней.

Смешанное соединение участков электрической цепи — сочетание последовательных и параллельных соединений участков электрической цепи, при котором происходит перераспределение токов и напряжений между отдельными участками цепи. При расчете электрических цепей, например с резисторами (рис. 147, *а*), отдельные группы резисторов выделяются в последовательные и параллельные ветви, для которых определяется эквивалентное сопротивление. В результате этих преобразований исходная схема приводится к упрощенной эквивалентной схеме.

Для схемы рис. 147, *а* расчет может быть проведен в следующей последовательности:

переход к схеме рис. 147, *б*:

$$R_{34} = R_3 + R_4;$$

переход к схеме рис. 147, *в*:

$$R_{234} = \frac{R_2 R_{34}}{R_2 + R_{34}};$$

переход к схеме рис. 147, *г*:

$$R_\Sigma = R_1 + R_{234}.$$

Смещение нейтрали — неравномерность распределения фазных напряжений силового трансформатора при подключении к его вторичной обмотке однофазных потребителей.

Смещение нейтрали проявляется наиболее заметно при группе соединения обмоток трансформатора УУ-0. При неравномерной загрузке фаз трансформатора напряжение более загруженной фазы оказывается наименьшим, а менее загруженной фазы — бо́льшим по величине (рис. 148). В результате в схеме с нулевым проводом фазные напряжения уже не соответствуют своим номинальным значениям.

Собственная мощность — часть выходной мощности автотрансформатора, входящая в проходную мощность и обусловленная электромагнитным взаимодействием первичной и вторичной обмоток.

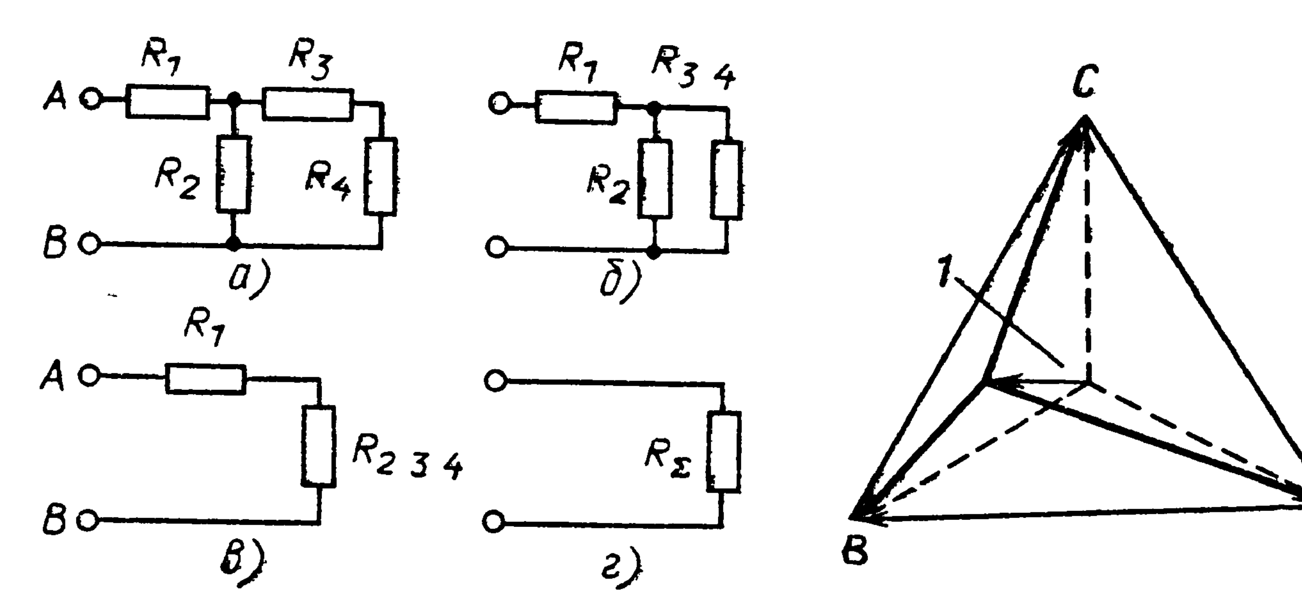


Рис. 147. Смешанное соединение участков электрической цепи

Рис. 148. Смещение нейтрали:
1 — фазовое смещение нулевой точки звезды

Собственная мощность определяется габаритами магнитной системы, сечением провода обмоток и коэффициентом трансформации автотрансформатора, вследствие чего ее называют также *типовой мощностью*. Отношение собственной мощности к проходной мощности получается оптимальным с точки зрения использования активных материалов в случае минимального отличия напряжений первичной и вторичной обмоток. Если $U_2 > U_1$, то собственную мощность можно определить из следующего выражения:

$$S_{\text{см}} = S_{\text{пр}} \frac{U_2 - U_1}{U_2}.$$

При $U_2 = 1{,}1U_1$ она составляет около 9 % проходной мощности автотрансформатора.

Собственное время отключения (время отключения полное).

Согласование электродвигателя с механизмом — выбор типа и номинала электродвигателя электропривода с учетом его мощности и режима работы.

Критериями выбора электродвигателя помимо мощности и частоты вращения являются стабильность последней, нагрев и охлаждение, перегрузочная способность, условия охлаждения и эксплуатации и т. д. Важнейшее влияние на выбор мощности электродвигателя оказывает режим работы электропривода (длительный, крат-

ковременный, повторно-кратковременный и т. д.). При этом следует учитывать требования относительно регулирования частоты вращения. С экономической точки зрения мощность электродвигателя не должна существенно превышать мощность производственного механизма. Для электродвигателей переменного тока следует учитывать влияние на тепловой режим реактивной мощности, значение которой зависит от частоты вращения.

Сосредоточенная обмотка — обмотка явнополюсной электрической машины, выполненная в виде цилиндрической катушки, расположенной на стержне полюса.

Сосредоточенные обмотки используются в электрических машинах постоянного тока (рис. 149, *а*) и в явнополюсных синхронных машинах (рис. 149, *б*). Они крепятся на стержне магнитопровода посредством клея или удерживаются на своем месте с помощью полюсных башмаков.

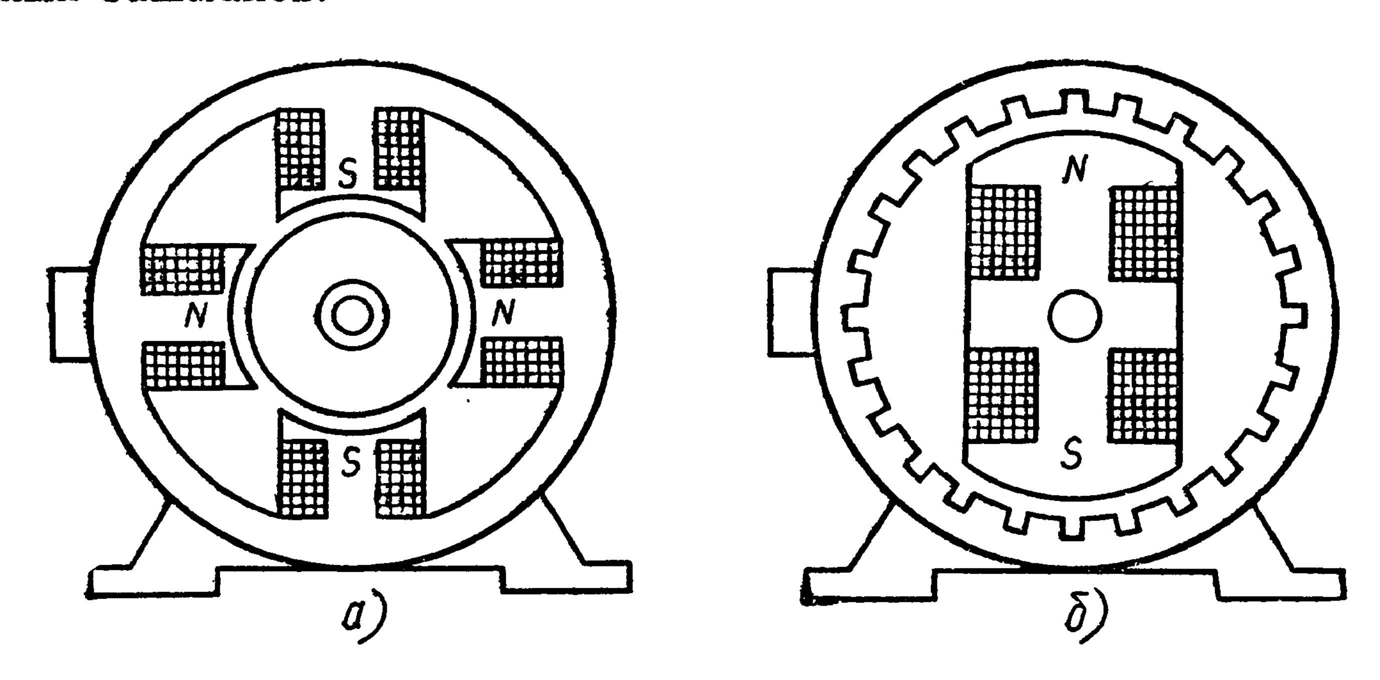


Рис. 149. Сосредоточенная обмотка:

а — машины постоянного тока; *б* — синхронной машины

Специальная серия электрических машин (основной ряд).

Способ возбуждения — способ создания магнитного поля возбуждения в машинах постоянного тока и в синхронных машинах.

Существуют два основных способа: электромагнитное возбуждение и возбуждение от постоянных магнитов. Преимущество последнего заключается в отсутствии дополнительного источника электроэнергии для питания обмотки возбуждения. К недостаткам способа возбуждения от постоянных магнитов относятся сложность регулирования потоков возбуждения и его зависимость от температуры и механических воздействий (ударов, вибраций).

Способ отключения — принцип действия расцепителей, используемых для отключения автоматов защиты при аварийных режимах работы.

Отключение автомата защиты производится путем воздействия на механическую или электромеханическую защелку, удерживающую механизм автомата защиты во включенном состоянии. Наиболее распространенными являются максимальнотоковое и тепловое защитное отключения. Для реализации этих отключений используются электромагнитные расцепители мгновенного действия и биметаллические тепловые реле. В этом случае ток нагрузки протекает

через обмотку электромагнитного расцепителя или биметаллическую пластину реле. При коротком замыкании возникает бросок тока в обмотке и освобождение защелки переместившимся якорем расцепителя. В тепловых реле происходит постепенный нагрев биметаллической пластины до заданной температуры, вследствие чего пластина деформируется и освобождает защелку. Используются также способы отключения, связанные с фиксацией отклонения параметров напряжения питания.

Способ торможения — способ снижения частоты вращения электропривода.

К основным способам торможения относятся способ преобразования кинетической энергии электропривода в тепловую энергию и способ преобразования кинетической энергии в электрическую, возвращаемую в питающую сеть (рекуперативное торможение).

Способы охлаждения вращающихся электрических машин. По способам охлаждения электрические машины классифицируются по нескольким признакам:

1) в зависимости от наличия или отсутствия вентилятора различают машины соответственно с искусственным и с естественным охлаждением;

2) в зависимости от того, какие части в машинах с искусственной вентиляцией обдуваются воздухом, различают обдуваемые и продуваемые машины;

3) в зависимости от направления движения охлаждающей среды относительно активных частей в машинах с внутренней вентиляцией различают машины с аксиальной, аксиально-радиальной и радиальной вентиляцией;

4) в зависимости от способа охлаждения нагретого в машине хладагента различают машины с разомкнутой или протяжной системой вентиляции и машины с замкнутой системой вентиляции;

5) в зависимости от того, какое вещество применено в качестве охлаждающей среды, различают машины с воздушным, водородным, водяным и масляным охлаждением. В одной машине могут быть применены одновременно несколько охлаждающих средств. Если охлаждение обеспечивается за счет испарения, то система охлаждения называется испарительной;

6) в зависимости от способа охлаждения обмоток различают машины с косвенным (поверхностным) и с непосредственным (внутренним) охлаждением.

Средний пусковой ток — среднее квадратичное между максимальным пусковым током I_1 (рис. 137) и током переключения I_2 (реостатный пуск);

$$I_{\text{п.ср}} = \sqrt{I_1 I_2}.$$

Средний пусковой ток характеризует тяжесть пуска электропривода.

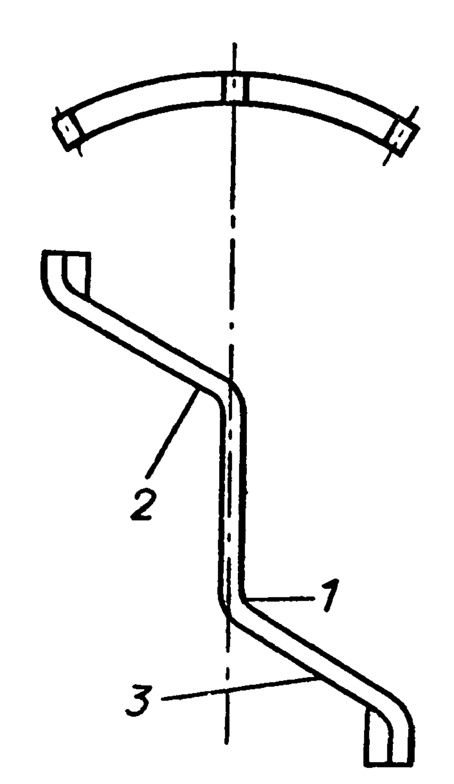
Срок службы коммутационного аппарата существенно зависит от конструктивных особенностей и условий эксплуатации коммутационного аппарата. Особенно сильное влияние на срок службы оказывает частота коммутации. Для его увеличения предусматриваются профилактические и ремонтные работы. В коммутационных аппаратах наиболее сильному износу подвергается контактная система, наиболее нагруженная механически и термически. Поэтому для увеличения срока службы часто производят замену вышедших из строя контактов.

Стабилизация — способ регулирования, при котором задающий сигнал является неизменным по значению и знаку, а на вход регулятора подается сигнал, пропорциональный разности задающего сигнала и изменяющегося сигнала обратной связи.

Статическая характеристика — характеристика элемента или контура системы автоматического регулирования, устанавливающая взаимосвязь между их входными и выходными сигналами.

В зависимости от типа элемента различают линейные и нелинейные статические характеристики. При использовании элементов с несколькими изменяемыми параметрами, например транзисторов, применяется семейство статических характеристик.

Стационарный режим работы — режим, при котором момент нагрузки $M_н$ двигателя уравновешивается развиваемым им моментом $M_{дв}$, т. е. $M_н = M_{дв}$. При этом частота вращения двигателя практически не меняется, если не изменяются параметры питающего напряжения [8].



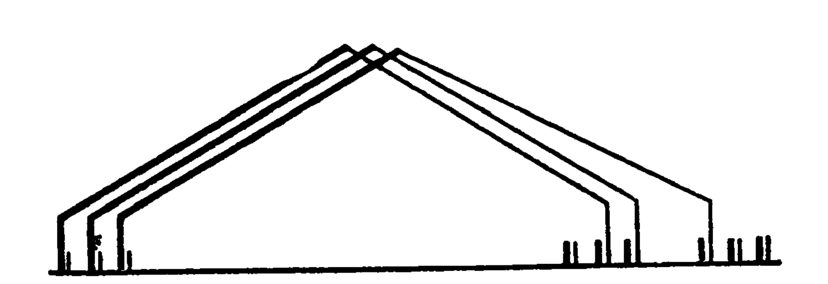


Рис. 151. Ступенчатая обмотка

Рис. 150. Стержневая обмотка:
1 — активная часть обмотки; *2*, *3* — задняя и передняя лобовые части

Степень защиты электрических машин от внешних воздействий — действенность тех или иных средств на вращающейся электрической машине, предназначенных для защиты от попадания в нее пыли, влаги и прочих посторонних предметов.

Степень защиты машины от внешних воздействий выбирается с учетом ее конструктивных особенностей и области использования. Абсолютная защита машины от всех возможных воздействий без учета указанных факторов экономически нецелесообразна.

Электрические машины по степени защиты от твердых предметов подразделяются на машины: незащищенного исполнения; с защитой от попадания внутрь посторонних предметов размером более 50; 12; 2,5; 1,0 мм; с защитой от попадания внутрь пыли в свободном состоянии и под давлением. По степени защиты от попадания внутрь влаги различают машины: с защитой от отдельных капель; от дождя; от воды под давлением [2].

Стержень магнитной системы (магнитная система трансформатора) — часть магнитной системы трансформатора, на которой располагаются основные обмотки [4].

Стержневая обмотка — обмотка, секции которой состоят из од-

ного стержня (рис. 150). Стержни имеют, как правило, прямоугольное сечение и изготовляются из чистой меди. При увеличении сечения стержня усложняется формовка секции обмотки. Поэтому каждая секция в машинах большой мощности изготовляется из нескольких стержней. Стержневые обмотки используются в машинах постоянного и переменного тока.

Сторона катушки (секция обмотки).

Сторона низшего напряжения трансформатора — совокупность витков и других токопроводящих частей, присоединенных к зажимам трансформатора, между которыми действует его низшее напряжение. Обмотка низшего напряжения может быть первичной и вторичной. На стороне низшего напряжения зажимы обозначаются строчными буквами алфавита [4].

Стрелка Пирса (логический элемент НЕ—ИЛИ).

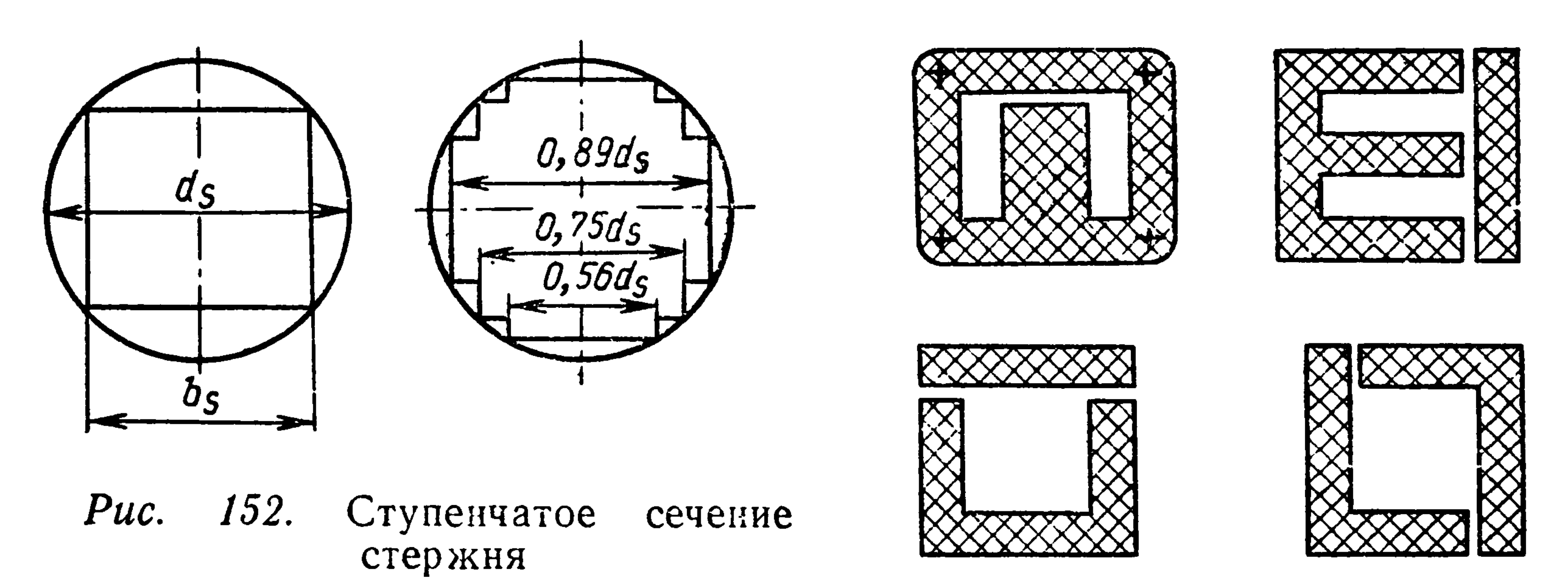


Рис. 152. Ступенчатое сечение стержня

Рис. 153. Стыковая магнитная система трансформатора

Ступенчатая обмотка — обмотка якоря машины постоянного тока, секции которой имеют различный шаг. По сравнению с обычной петлевой обмоткой с одинаковым шагом в машине со ступенчатой обмоткой улучшается коммутация на коллекторе (рис. 151).

Ступенчатое сечение стержня — поперечное сечение стержня, собранного из двух или более пакетов пластин различной ширины, имеющее форму ступенчатой фигуры, вписанной в окружность или овал.

Для лучшего использования магнитной системы трансформатора и простоты размещения круглых обмоток на стержне последний выполняют со ступенчатым сечением (рис. 152). При выборе соответствующих размеров каждой ступени эффективное сечение стержня незначительно меньше площади описанной окружности. Отношения площадей ступенчатого сечения стержня и описанной окружности называют *коэффициентом заполнения по стали* [4].

Стыковая магнитная система трансформатора — магнитная система, в которой стержни и ярма или отдельные части, собранные или скрепленные отдельно, при сборке системы устанавливаются встык [4] (рис. 153).

Сухой трансформатор — трансформатор небольшой мощности, в котором в качестве хладагента и изоляции используется воздух. Сухие трансформаторы довольно редко выполняются на высокое напряжение и имеют в этом случае весьма ограниченное использо-

вание. Наиболее часто они используются в жилых домах, магазинах и т. п. Обмотки трансформаторов изготовляются из алюминиевого провода со стекловолокнистой изоляцией, причем этот провод покрывается в вакууме силиконовым лаком, что затрудняет возгорание обмотки. Сухие трансформаторы практически не нуждаются в каком-либо уходе. При напряжении первичной обмотки 10 кВ их номинальная мощность не превышает 1000 кВ·А.

Схема включения двухполюсников — элементарная схема подключения активного двухполюсника, содержащего источник напряжения, к пассивному двухполюснику, в котором осуществляется преобразование электрической энергии активного двухполюсника. Схема замещения указанной цепи представлена на рис. 154. Она используется для составления более сложных разветвленных электрических схем.

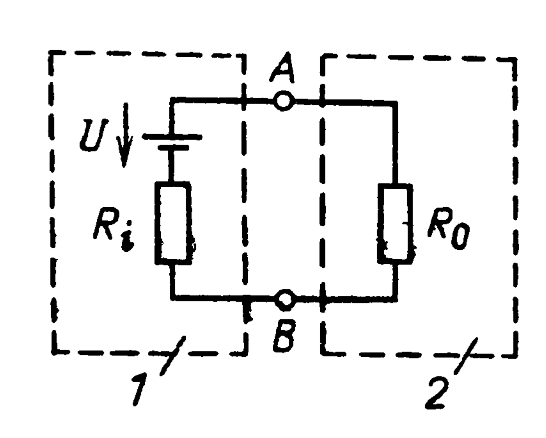
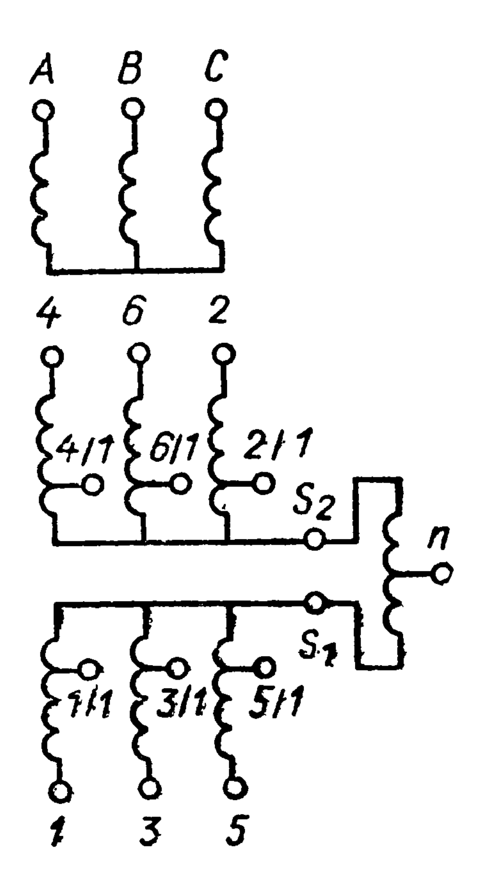


Рис. 154. Схема включения двухполюсников:

1, 2 — активный и пассивный двухполюсники



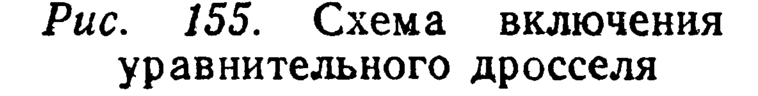


Рис. 155. Схема включения уравнительного дросселя

Схема включения уравнительного дросселя — схема подключения дросселя к обмотке трансформатора, предназначенного для питания многофазного выпрямителя.

Две вторичные обмотки выпрямительного трансформатора соединяются по схемам звезда и треугольник с целью снижения пульсаций выпрямленного тока. В этом случае получают эквивалентную 12-фазную схему выпрямителя. Выводы каждой вторичной обмотки подключаются к трехфазному мостовому выпрямителю, которые включаются (по постоянному току) последовательно. Между нулевыми точками вторичных обмоток включается сглаживающий дроссель (рис. 155), средняя точка обмотки которого соединяется с катодной группой выпрямителя. Такое включение сглаживающего дросселя позволяет снизить коэффициент пульсации выпрямленного тока и повысить использование трансформатора по сравнению со схемой выпрямления, в которой обе вторичные обмотки трансформатора соединены по схеме звезда.

Схема Даландера — схема переключения числа пар полюсов обмотки статора асинхронного двигателя с целью ступенчатого регулирования частоты вращения.

Из принципа работы асинхронного двигателя следует, что его частота вращения прямо пропорциональна частоте напряжения питания и обратно пропорциональна числу пар полюсов. Это означает, что частоту вращения двигателя можно изменять посредством изменения числа пар полюсов обмотки статора. В 1897 г. Даландером была предложена схема переключения числа пар полюсов обмотки статора асинхронного двигателя с $2p=2$ на $2p=4$. При этом в обоих случаях на обмотку подается номинальное напряжение питания, для чего при переключении числа пар полюсов изменяется схема включения фазных обмоток. При $2p=2$ используется схема соединения обмотки звезда, при $2p=4$—схема соединения треугольник (рис. 156). В настоящее время используются схемы переключения фазных обмоток, обеспечивающие три или четыре номинальные частоты вращения двигателя, причем три значения частоты вращения двигателя сравнительно просто могут быть получены и при использова-

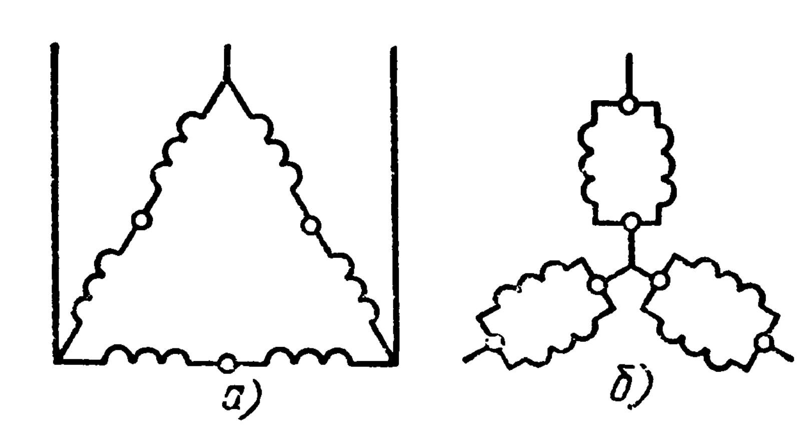


Рис. 156. Схема Даландера:
а — треугольник; *б* — двойная звезда

нии одной обмотки статора. Если двигатель должен работать на любой частоте вращения с постоянным моментом, следует использовать схему треугольник — двойная звезда. При регулировании с постоянной мощностью используют схему звезда — двойная звезда. Если необходимо получить квадратичную зависимость момента двигателя от частоты вращения, используют схему двойная звезда — треугольник.

Схема зависимого включения — схема управления различными электрическими устройствами с заданной последовательностью включения их отдельных блоков.

В качестве примера реализации можно назвать схему управления электронагревателем, содержащим нагревательную спираль, через которую при помощи вентилятора продувается воздух. В такой схеме подключение к питающей сети нагревательной спирали возможно только после включения вентилятора.

Схема зависимого отключения применительно к устройствам защиты называется также *схемой селективной защиты.*

В схеме отключение того или иного электрического аппарата возможно только после отключения одного или нескольких других аппаратов. В общем случае в схеме может быть принята любая последовательность отключения аппаратов независимо от их количества, причем в сложных схемах используются программные устройства. Характерным примером схемы зависимого отключения является схема управления группой конвейеров, с помощью которых сыпучий груз транспортируется из одного места в другое через последовательно соединенные конвейеры. В такой схеме команда на отключение последующего конвейера может быть выполнена только после отключения предыдущего, подающего конвейера,

Схема замещения трансформатора — схема трансформатора, отображающая его свойства как преобразователя энергии переменного тока.

На рис. 157 представлена Т-образная схема замещения, левое и правое плечи которой образованы соединенными последовательно активным и индуктивным сопротивлениями соответственно первичной и вторичной обмотки. Поперечное звено схемы замещения образовано соединенными параллельно индуктивным сопротивлением, обусловленным индуктивной связью обмоток, и резистором, с помощью которого учитываются активные потери в стали магнитной системы трансформатора. Представленная на схеме гальваническая связь между первичной и вторичной обмотками в реальных трансформаторах отсутствует. Однако при коэффициенте трансформации, равном единице, такое представление допускается.

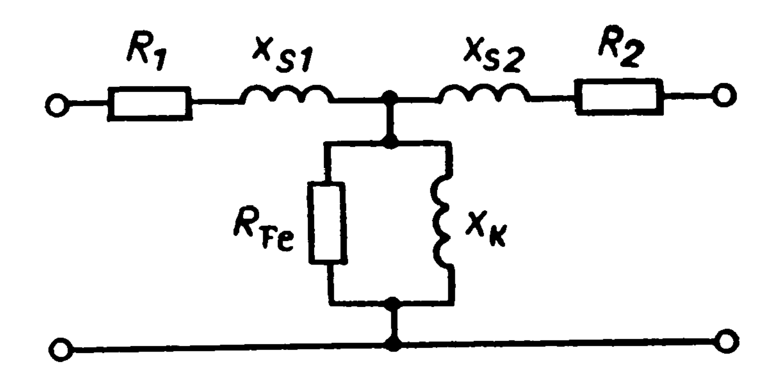


Рис. 157. Схема замещения трансформатора:

R_1 и R_2 — активные сопротивления обмоток; x_{s1} и x_{s2} — индуктивные сопротивления обмоток; $x_к$ — индуктивное сопротивление цепи намагничивания; R_{Fe} — активное сопротивление магнитной системы

Преимущество схемы замещения трансформатора состоит в том, что с ее помощью можно расчетным путем определить характеристики и параметры реального трансформатора.

Схема защиты — схема, предназначенная для защитного отключения поврежденного участка электрической цепи с помощью автомата защиты.

В зависимости от выполняемой функции автоматы защиты контролируют соответствующий параметр с помощью встроенных или вынесенных датчиков. В последнем случае датчики через промежуточные реле или непосредственно воздействуют на исполнительный механизм автомата защиты, отключая его при превышении контролируемым параметром (током, напряжением) допустимого значения.

Схема Кюблера (схема Скотта).

Схема Леонардо — схема регулируемого электропривода постоянного тока, где обмотка якоря двигателя постоянного тока подключена к обмотке якоря генератора постоянного тока, приводимого во вращение от первичного двигателя. Регулирование частоты вращения двигателя осуществляется путем изменения напряжения генератора при помощи регулятора возбуждения. Для питания цепей возбуждения может использоваться либо специальная сеть постоянного тока, либо возбудитель, приводимый во вращение первичным двигателем. Схема Леонардо используется для привода мощных механизмов с большим диапазоном регулирования частоты вращения.

Схема переключения обмотки статора — специальная схема переключения обмотки статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, предназначенная для перераспределения токов в секциях обмотки статора с целью изменения частоты вращения ротора двигателя.

Фазные обмотки асинхронного двигателя выполнены из двух

или более секций, которые включаются последовательно или параллельно. В первом случае двигатель работает с низкой частотой вращения, поскольку последовательное включение секций фазных обмоток приводит к увеличению сопротивления фаз обмотки статора, к снижению тока и вращающего момента. При параллельном соединении секций фазных обмоток происходит увеличение тока, а следовательно, и частоты вращения двигателя.

Схема переключения со звезды на треугольник — схема соединения обмотки статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, предназначенная для его запуска (рис. 158).

Данная схема используется для запуска двигателей небольшой и средней мощности. Переключение обмотки статора можно реализовать только при наличии в клеммной коробке всех шести выводов обмотки статора, причем номинальному значению напряжения питания соответствует схема треугольник. Подключение обмотки статора к сети производится по схеме звезда, что позволяет снизить пусковой ток двигателя примерно на 30 % по сравнению со схемой треугольник. Пропорционально снижению тока имеет место снижение момента двигателя. По этой причине использование указанной схемы наиболее эффективно при пуске ненагруженного двигателя. Переключение обмоток со схемы звезда на схему треугольник производится только после разгона двигателя.

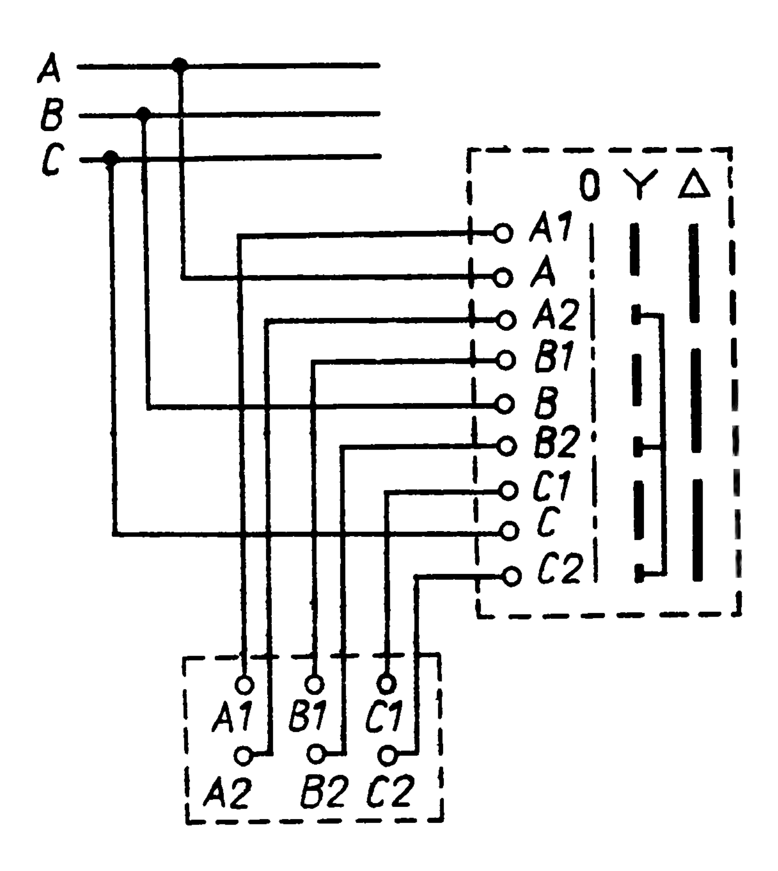


Рис. 158. Схема переключения со звезды на треугольник

Схема плавного пуска двигателя (пусковые резисторы в цепи статора).

Схема расширения входного сигнала — электронное устройство, сигнал на выходе которого определяется не только комбинацией входных сигналов, но и внутренним состоянием устройства.

Схемы используются в системах контроля, в которых имеет место кратковременное превышение контролируемой величиной допустимого значения. При визуальном контроле за изменением какого-либо параметра выход его за допустимые пределы может быть настолько кратковременным, что не представляется возможной фиксация указанного события обслуживающим персоналом. Так, например, при контроле температуры нагрева в каком-либо устройстве с помощью лампы накаливания, загорающейся при кратковременном увеличении температуры выше допустимого значения, в схеме расширения входного сигнала срабатывает соответствующий блок, поддерживающий свечение лампы в течение некоторого времени. Рассмотренные устройства используются для контроля режима работы систем распределения электроэнергии и позволяют фиксировать возникающие в них процессы дугообразования.

Схема разомкнутого треугольника — специальная схема подклю-

чения однофазных трансформаторов напряжения к трехфазной цепи переменного тока (рис. 159).

Первичные обмотки трансформаторов напряжения включаются на линейные напряжения трехфазной сети. Точка соединения одних выводов вторичных обмоток заземлена, а другие выводы этих обмоток подключаются к вольтметрам.

Схема Скотта — схема включения однофазных трансформаторов, предназначенная для преобразования трехфазного напряжения переменного тока в двухфазное напряжение переменного тока.

В схеме используются два однофазных трансформатора. Первичные обмотки обоих трансформаторов *А* и *В* (рис. 160) подключены к трехфазной сети переменного тока, причем один вывод первичной обмотки трансформатора подключен к одному фазному

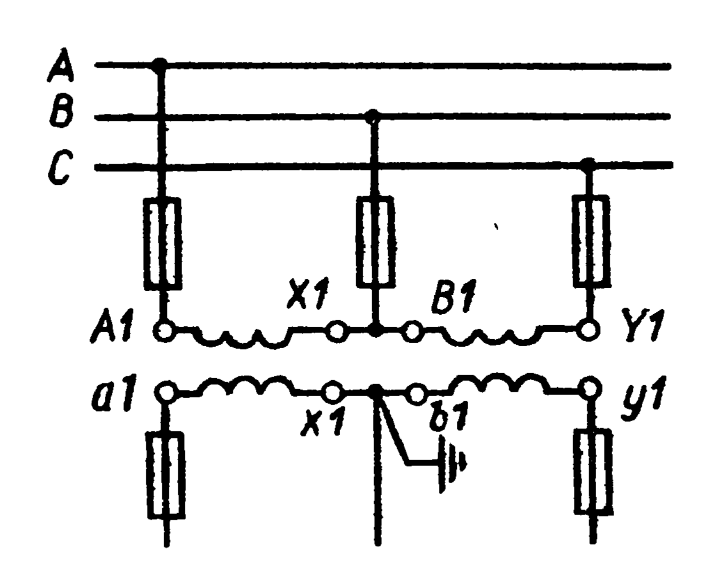


Рис. 159. Схема разомкнутого треугольника

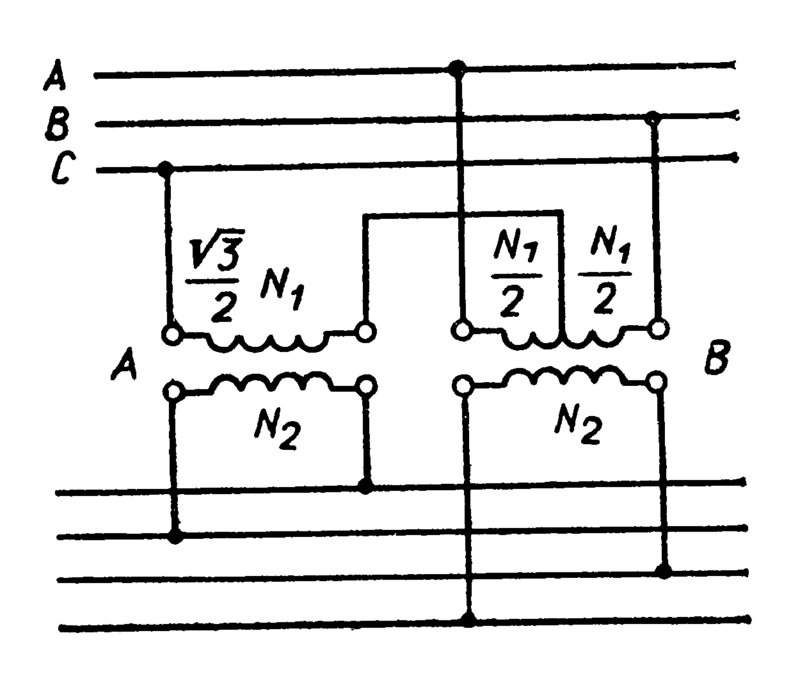


Рис. 160. Схема Скотта

проводу питающей сети, другой вывод первичной обмотки трансформатора *А* подключен к среднему выводу первичной обмотки трансформатора *В*. Выводы последней обмотки подключены к двум другим фазным проводам питающей сети. Выводы вторичных обмоток трансформаторов *А* и *В* образуют гальванические не связанные однофазные цепи. Если для первичных обмоток сохранить количество витков, указанное на рис. 160, то при фазовом сдвиге первичных напряжений на 120° вторичные напряжения трансформаторов первой и второй фазы будут сдвинуты по фазе на 90°.

Схема соединений — схема, отображающая наличие в конкретном устройстве элементов электрооборудования и соединений между этими элементами.

Схема соединения двойная звезда (схема соединения обмоток трансформатора со средней точкой).

Схема соединения звезда — схема соединения трехфазных обмоток генераторов, трансформаторов, двигателей, а также резисторов, конденсаторов и т. д., в которой одни выводы обмоток указанных электрических машин и элементов электрической цепи объединены, а другие пофазно подключены к питающей сети.

На схеме рис. 161 начала обмоток трехфазного генератора объединены, а концы обмоток подключены к одним выводам резисторов, другие выводы которых также соединены между собой. Таким образом, и обмотки генератора, и резисторы соединены по схеме звез-

да. Если общие точки обмоток и резисторов соединить между собой, то в указанной схеме можно подключать однофазные потребители. Фазным напряжением является напряжение между линейным и нулевым проводами, линейным — напряжение между двумя линейными проводами. Линейное напряжение в $\sqrt{3}$ раз больше фазного, т. е. $U_л = \sqrt{3} U_ф$. Наиболее распространенными являются фазное напряжение 220 В и линейное 380 В.

Схема соединения зигзаг — специальная группа соединения обмоток трансформатора.

При данной схеме соединения УZ-5 каждая фазная обмотка расположена на двух стержнях магнитной системы трехфазного трансформатора, т. е. фазная обмотка состоит из двух соединенных последовательно катушек, расположенных на разных стержнях. В такой схеме устраняется возможность фазового сдвига нейтральной точки обмотки, что позволяет реализовать полную загрузку нейтрали и тем самым повысить использование трансформатора. В этой схеме (рис. 162) количество витков в каждой фазе на 15,6 % больше, чем в обычной схеме звезда при том же значении напряжения вторичной обмотки.

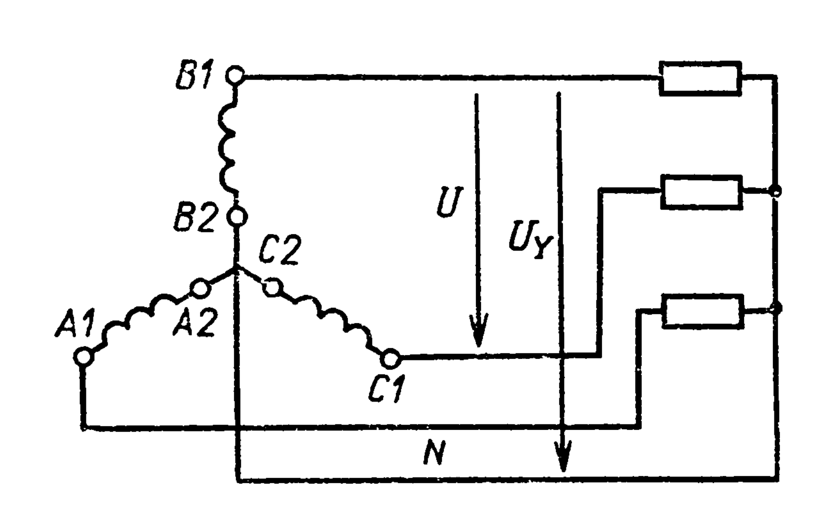


Рис. 161. Схема соединения звезда

Схема соединения обмоток трансформатора со средней точкой — схема соединения вторичной обмотки многофазного выпрямительного трансформатора, подключенной к выпрямителю.

Первичная обмотка трансформатора может быть соединена по схемам звезда или треугольник и подключается к многофазной питающей сети переменного тока. При включении вторичной обмотки трансформатора по схеме двойная звезда (рис. 163) или по схеме двойной зигзаг трехфазный трансформатор позволяет реализовать эквивалентную шестифазную схему выпрямления (рис. 163).

Схема соединения треугольник — схема соединения фазных обмоток трехфазных электрических машин (генераторов, двигателей, трансформаторов) и электропотребителей переменного тока, в которой начало одной фазной обмотки соединено с концом другой фазной обмотки.

Фазные обмотки трехфазного генератора подключены к трехфазной питающей сети при помощи проводов *A*, *B*, *C* (рис. 164). Между ними имеется линейное напряжение U_{AB}, под действием которого во внешней электрической цепи протекает линейный ток I_{AB}. В схеме соединения треугольник фазное напряжение равно линейному, а фазный ток в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного.

Схема торможения (СТ) — совокупность включенных определенным образом электрических аппаратов, обеспечивающих снижение частоты вращения двигателей постоянного и переменного тока до их полной остановки.

Обычно СТ либо преобразуют механическую энергию вращающегося ротора в электрическую, либо используют электрическую энер-

гию питающей сети или вспомогательного источника энергии для создания тормозного момента. С помощью СТ реализуется рекуперативное и реостатное торможение и торможение противовключением.

В первом случае двигатель работает в режиме генератора, возвращая запасенную в нем энергию в питающую сеть. Необходимым условием реализации данного тормозного режима является превы-

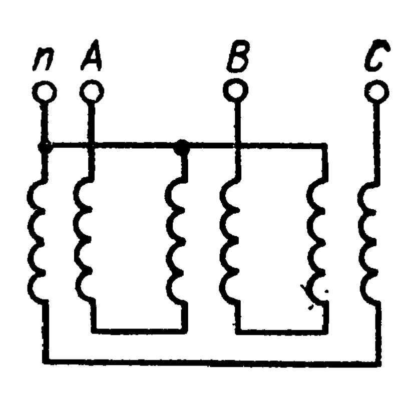
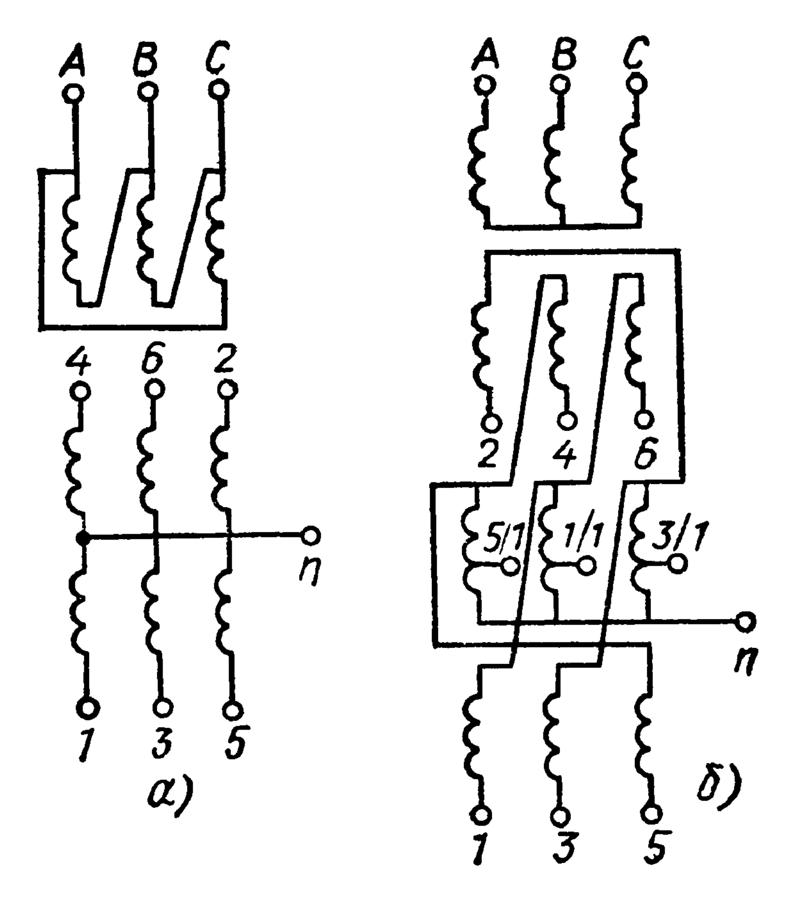
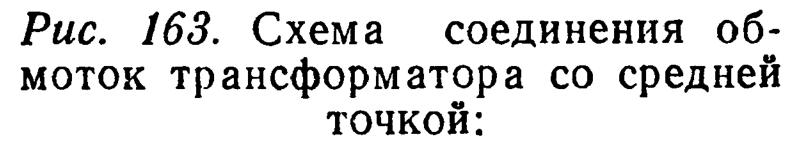


Рис. 162. Схема соединения зигзаг




Рис. 163. Схема соединения обмоток трансформатора со средней точкой:

а — двойная звезда; *б* — двойной зигзаг

шение напряжения двигателя над напряжением питающей сети или частоты вращения ротора над частотой вращения электрического поля. Это условие реализуется в электроприводах подъема груза механических кранов, в тяговых электроприводах и в асинхронных двигателях при переключении статорной обмотки с большего на меньшее число пар полюсов.

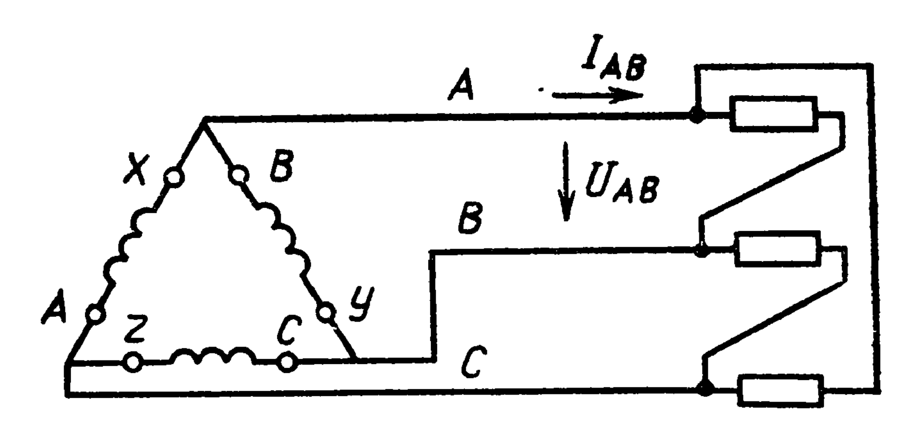


Рис. 164. Схема соединения треугольник

Реостатное торможение наиболее часто реализуется в электроприводах постоянного тока. При этом обмотка якоря отключается от источника питания и замыкается на тормозной реостат. Двигатель работает в этом случае в режиме генератора, преобразуя запасенную в нем кинетическую энергию ротора в тепловую энергию, выделяющуюся в тормозном реостате. В двигателях постоянного тока с последовательным возбуждением для перехода в режим реостатного торможения следует, кроме того, изменить полярность тока в обмотке возбуждения.

Для перевода привода в режим торможения противовключением необходимо изменить полярность питающего напряжения, приложенного к обмотке якоря двигателя постоянного тока, или изменить последовательность чередования фаз для трехфазного двигателя переменного тока. Для предотвращения разгона двигателя в обратном направлении используются соответствующие схемы контроля и защиты.

Следует отметить, что для трехфазных двигателей переменного тока используются СТ, реализующие дополнительные, помимо выше названных, режимы торможения. К таким СТ относятся схемы, осуществляющие питание обмотки статора постоянным током, комбинированное питание постоянным и переменным током и т. д. Широко используется торможение методом наложения в двухдвигательном электроприводе, в котором один двигатель работает в номинальном режиме, а другой — в режиме торможения, причем валы двигателей имеют механическую связь между собой. На практике СТ не всегда обеспечивают поддержание неподвижного состояния ротора двигателя, что объясняется активным характером момента нагрузки.

Т

Таблица состояния — таблица, с помощью которой записывается состояние сложных логических схем при различных комбинациях входных сигналов.

Тахогенератор постоянного тока (ТПТ) — генератор постоянного тока, предназначенный для выработки напряжения постоянного тока, значение которого пропорционально частоте вращения вала.

Конструктивно ТПТ практически не отличается от обычного генератора постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Для устранения колебаний выходного напряжения, вызванных изменением температуры активных частей и окружающей среды, используются различные средства температурной компенсации. Для температурной компенсации магнитного поля возбуждения в пакет ротора между полюсами из постоянных магнитов вставляются сегменты из легированной электротехнической стали, например из Fe—Ni. Для температурной компенсации сопротивления обмотки якоря последовательно с ней включается резистор с низким сопротивлением, зашунтированный термистором. Значение выходного напряжения ТПТ на практике не всегда пропорционально частоте вращения, вследствие чего возникает погрешность измерения частоты вращения. В прецизионных ТПТ погрешность не превышает 1 %, в ТПТ обычного исполнения погрешность не превышает 5 %. Чувствительность ТПТ к изменению частоты вращения составляет 0,02—0,2 В на один оборот в минуту. Прецизионные ТПТ изготовляются мощностью от 1 до 50 Вт, а обычные, с пониженной точностью — до 500 Вт [3].

Текстурованный лист электротехнической стали (трансформаторная сталь).

Температурный коэффициент сопротивления — физическая величина, отображающая зависимость электрического сопротивления вещества от температуры.

Условное обозначение — $\alpha_т$. Коэффициент указывает на относительное изменение сопротивления при изменении температуры на 1 °С. Для металлов $\alpha_т > 0$, т. е. с увеличением температуры растет

сопротивление металлов. Для полупроводников и электролитов $\alpha_т < 0$, что означает снижение сопротивления указанных материалов при увеличении их температуры.

Тепловая защита — защита электрических машин от перегрева. Перегрев возникает в результате перегрузки или отказа системы охлаждения. Следствием перегрева является тепловое старение изоляции электрических машин, приводящее к снижению ее электрической прочности. Для фиксации перегрева используются термодатчики или термоэлементы, расположенные внутри обмотки или в системе охлаждения. При недопустимом превышении температуры датчики подают команду на контакторы, отключающие часть нагрузки, если это возможно. В отдельных случаях производится полное отключение трансформатора. Тепловая защита осуществляется также при помощи плавких предохранителей и максимальнотоковых расцепителей.

Тепловая эмиссия — эффект выделения свободных носителей электрических зарядов с поверхности металлов при увеличении их температуры.

Тепловая эмиссия возникает в процессе горения электрической дуги между контактами коммутационного аппарата, а также в электронных и газоразрядных лампах, ртутных выпрямителях.

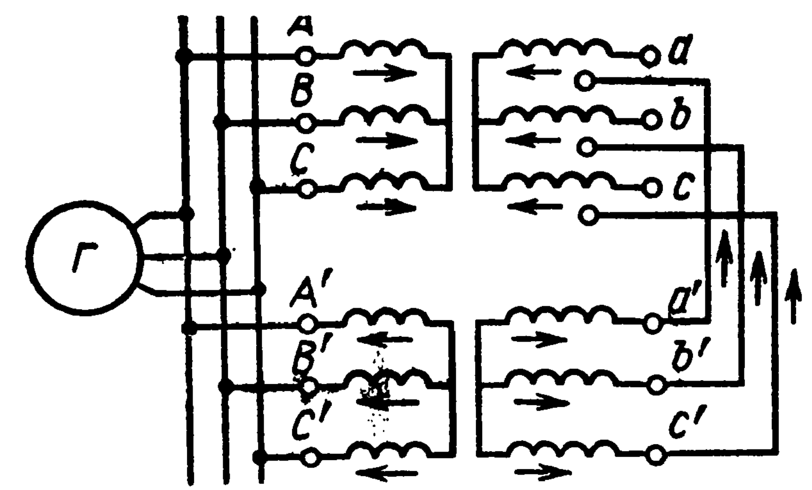


Рис. 165. Тепловые испытания

Тепловое действие электрического тока — тепловыделение в токоведущих частях электрических машин и аппаратов, обусловленное преодолением электрическим током сопротивления материалов, из которых изготовлены токоведущие части.

Выделяемое тепло, как правило, является нежелательным, поскольку необходимо затрачивать дополнительные средства и энергетические ресурсы для отвода тепла от активных частей электрооборудования. Исключение составляют различные электронагревательные приборы, в которых выделяемое тепло используется для обогрева различных устройств, помещений.

Тепловые испытания — разновидность типовых испытаний трансформаторов с целью определения температуры обмоток и магнитной системы при номинальном режиме работы.

Обычно тепловые испытания характеризуются большими затратами времени. При их проведении используется вспомогательный трансформатор, первичная и вторичная обмотки которого включены параллельно с аналогичными обмотками испытываемого трансформатора (рис. 165). В основу тепловых испытаний положен метод взаимной нагрузки. Первичные обмотки трансформаторов подключаются к трехфазной сети переменного тока. При равенстве витков первичных и вторичных обмоток трансформаторов они работают в режиме холостого хода и ток первичных обмоток определяется потерями в стали и током намагничивания. Для нагрузки испытываемого трансформатора осуществляют переключение отпаек во вторичной обмотке основного или вспомогательного трансформатора, например таким образом, чтобы напряжение на ней соответствовало удвоенному значению напряжения короткого замыкания. Под дейст-

вием возникающей при этом разности напряжений во вторичных обмотках протекает реактивный ток, обеспечивающий номинальную нагрузку обоих трансформаторов. Таким образом, нагрузка создается в процессе циркуляции реактивной мощности между трансформаторами. При отсутствии отпаек во вторичных обмотках трансформаторов для той же цели можно использовать дополнительную первичную обмотку, подключенную к индивидуальному источнику переменного тока. В процессе проведения тепловых испытаний имеет место изменение температуры активных частей трансформатора в функции времени. Температуру масла в баке определяют с помощью термометра, температуру магнитной системы — с помощью термопары. Для измерения температуры обмоток используется измерительный мост постоянного тока, позволяющий оценить изменение активного сопротивления обмоток, обусловленное изменением их температуры.

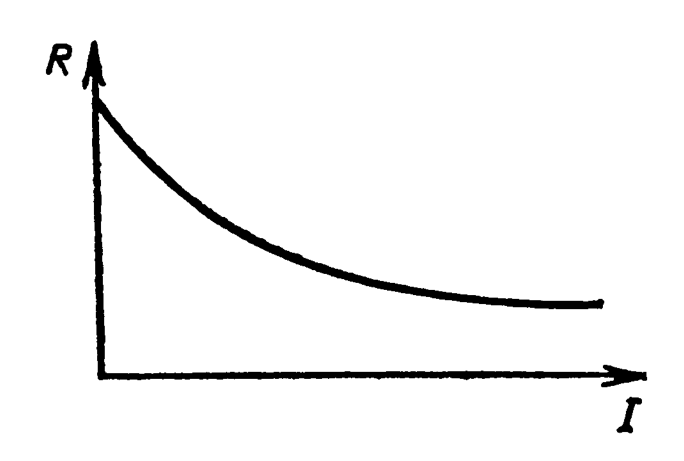


Рис. 166. Терморезистор:
R — сопротивление; *I* — ток

Рис. 167. Терморезистор с положительным температурным коэффициентом сопротивления:
R — сопротивление; *I* — ток

Тепловые потери (потери короткого замыкания).

Термопара — электрический термометр, предназначенный для преобразования текущего значения температуры в электрический сигнал.

Термопара состоит из двух различных металлических пластин, одни концы которых соединены сваркой или пайкой. При нагреве места соединения пластин на их концах образуется постоянное напряжение, значение которого пропорционально значению температуры нагрева.

Термопары используются для дистанционной передачи информации о температуре различных объектов. В системах автоматики они применяются в качестве датчиков температуры. При изготовлении термопар используются следующие пары металлов: медь—константан, железо—константан, хромистый никель—никель и др. Возникающее на зажимах термопары напряжение не превышает нескольких милливольт.

Терморезистор — нелинейный резистор, значение сопротивления которого зависит от температуры, в результате чего протекающий через него ток является нелинейной функцией сопротивления (рис. 166). Терморезисторы изготовляются из окислов металлов и используются в качестве датчиков температуры в системах автоматического регулирования и управления [1].

Терморезистор с положительным температурным коэффициентом

сопротивления — нелинейный резистор, вольт-амперная характеристика которого зависит от его температуры.

При увеличении значения протекающего через резистор тока происходит его нагрев, что приводит к увеличению сопротивления резистора, а следовательно, к снижению тока. Терморезисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления широко используются в различных регуляторах в качестве датчиков температуры. На рис. 167 приведена зависимость сопротивления резистора от значения протекающего через него тока.

Тесла — единица измерения индукции магнитного поля. Условное обозначение — Тл. Индукция равна 1 Тл, если через поверхность площадью в 1 м² проходит магнитный поток в 1 Вб.

Согласно определению, принятому в Международной системе единиц измерений СИ, тесла — индукция такого однородного магнитного поля, которое действует с силой 1 Н на каждый метр длины прямолинейного проводника, расположенного перпендикулярно направлению поля, если по этому проводнику течет ток силой 1 А.

Единица измерения названа в честь чешского физика и электротехника Николы Тесла (1856—1943) [1].

Тестовый сигнал — сигнал, подаваемый на вход системы автоматического регулирования или отдельного ее элемента с целью определения их динамических характеристик.

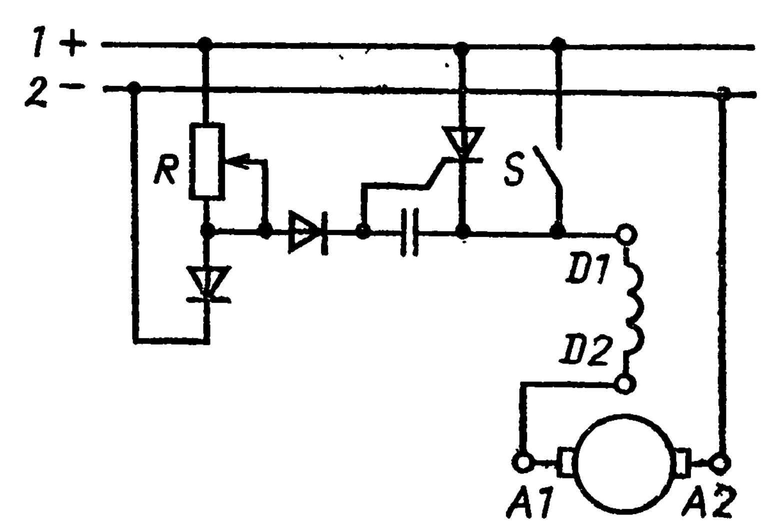


Рис. 168. Тиристорный регулятор

Наиболее часто тестовый сигнал формируется в виде прямоугольного импульса напряжения. Для получения специальных характеристик используются также сигналы пилообразной, синусоидальной и других форм.

Типовые испытания — серия испытаний электрических машин, целью которых является определение соответствия их электрических, механических и термических характеристик государственным стандартам и техническим нормам.

Испытаниям подвергаются единичные образцы электрических машин, выбираемые случайно из крупной партии серийно выпускаемых машин. Количество подлежащих типовым испытаниям машин зависит от размеров выпускаемой партии. В крупной серии проверке подвергается примерно одна машина на тысячу.

Тиристорный регулятор — регулятор напряжения, в котором в качестве регулирующего элемента используются тиристоры.

На рис. 168 представлена схема регулирования частоты вращения универсального коллекторного двигателя с помощью тиристорного регулятора. Изменение значения сопротивления переменного резистора, включенного в цепь управления тиристора, позволяет изменять частоту вращения двигателя от 0 до 70 % номинального значения. Для получения частоты вращения выше указанного значения включают ключ *S*, шунтирующий тиристор, после чего двигатель выходит на номинальную частоту вращения.

Ток включения трансформатора — увеличенное значение тока

в первичной обмотке трансформатора при его подключении к питающей сети.

При всяком изменении нагрузки или первичного напряжения трансформатора новый режим устанавливается в нем после переходного процесса. Токи в обмотках во время некоторых переходных процессов могут во много раз превышать установившиеся значения. В момент включения трансформатора в его магнитной системе присутствует незначительный поток, вызванный остаточным намагничиванием. Для перехода к новому в магнитном отношении состоянию магнитной системы необходимо в первый момент резко увеличить ток намагничивания, что и является причиной броска тока в первичной обмотке. После этого происходит интенсивное затухание тока до установившегося значения. Коэффициент затухания определяется сопротивлением рассеяния первичной обмотки. Время переходного процесса составляет несколько периодов напряжения питания.

Ток короткого замыкания — ток, возникающий в результате повреждения изоляции между корпусом или разными фазами электрической машины. Условное обозначение — $I_к$.

При образовании КЗ в электрической цепи возникает переходный процесс, характеризующийся значительным броском тока. По истечении некоторого времени (около 1 с) ток КЗ принимает установившееся значение, существенно меньшее амплитудного значения броска тока. Одним из основных действий тока КЗ является интенсивный нагрев токоведущих элементов, по которым он протекает. Первоначальный бросок носит название ударного тока КЗ и вызывает значительные электродинамические усилия, часто приводящие к механическому повреждению электротехнического устройства. По указанным причинам необходимо обеспечить быстрое отключение электрической цепи, находящейся в режиме КЗ (в течение 0,1—5 с), во избежание механических повреждений и пожара.

Ток намагничивания (ток холостого хода).

Ток отключения (защитное заземление).

Ток трогания (начальный пусковой ток).

Ток утечки — ток, возникающий при повреждении изоляции и протекающий через поврежденный участок электрической цепи. Условное обозначение — $I_{ут}$.

Ток холостого хода трансформатора — ток первичной обмотки трансформатора, вторичные обмотки которого разомкнуты.

Ток холостого хода составляет 5—10 % номинального значения и обеспечивает намагничивание магнитной системы, т. е. является током намагничивания. Он отстает по фазе от напряжения первичной обмотки, поскольку имеет индуктивный характер. В него также входит составляющая, обусловленная потерями в стали магнитной системы, которая существенно меньше тока намагничивания. Ток холостого хода может быть определен из выражения

$$I_0=\sqrt{I_\mu^2+I_{ст}^2},$$

где I_μ — ток намагничивания; $I_{ст}$ — ток, определяемый потерями в магнитной системе, $I_{ст}=P_0/U_1$, где P_0 — потери холостого хода.

Токоведущая часть — конструктивный элемент электрической машины, предназначенный для пропускания электрического тока.

В электрических вращающихся машинах к токоведущим частям относятся щетки, коллектор, контактные кольца, соединительные

провода, посредством которых выводы обмоток подключаются к зажимам клеммной коробки.

Торможение — процесс снижения частоты вращения электродвигателя или электропривода до нулевого значения под действием механических или электромагнитных сил.

Режим торможения реализуется в случае экстренной остановки привода, необходимость которой обусловлена повреждением электрической или механической части электропривода, недопустимым увеличением его частоты вращения или нагрузки. Торможение осуществляется самыми разнообразными техническими средствами, например с помощью растормаживающих электромагнитов, роторов с аксиальным смещением, электромагнитных муфт и т. д. Используются также и специальные режимы, предназначенные для формирования специальных механических характеристик привода, например торможение на выбеге, торможение для снижения частоты вращения до некоторого заданного значения, в процессе которых осуществляется контроль тока и напряжения питающей сети.

Торможение постоянным током — динамическое торможение асинхронного двигателя, при котором для возбуждения машины применяется постоянный ток.

Тормозной момент при этом создается в результате рассеивания запасенной в двигателе энергии в обмотках асинхронного двигателя, что приводит к их нагреву. Для реализации торможения постоянным током асинхронный двигатель отключается от сети трехфазного переменного тока и подключается к источнику постоянного тока [8].

Торможение при спуске груза — один из режимов работы электропривода грузоподъемного механизма.

При спуске груза вал электродвигателя вращается под действием момента, создаваемого этим грузом. Наводимая в обмотке якоря двигателя постоянного тока ЭДС закорачивается на тормозной реостат, т. е. реализуется *генераторное торможение.* В асинхронном электроприводе ротор двигателя раскручивается до частоты вращения выше синхронной и двигатель работает в режиме генератора, отдавая энергию в сеть и создавая тормозной момент на валу.

Торможение противовключением — электрическое торможение электродвигателя, осуществляемое путем переключения его обмоток в положение, соответствующее другому направлению вращения.

Торможение асинхронного двигателя осуществляется перестановкой двух фазных проводов трехфазной сети переменного тока, вследствие чего направление вращения электромагнитного поля двигателя становится противоположным направлению вращения ротора. Торможение противовключением сопровождается значительными электрическими, механическими и тепловыми перенапряжениями. При соединении обмотки статора асинхронного двигателя по схеме треугольник перенапряжения могут быть трехкратными по сравнению с номинальным режимом работы. Для предотвращения разгона двигателя в обратном направлении вращения должны быть предусмотрены средства контроля, например датчик частоты вращения, при помощи которого производится отключение напряжения питания в момент остановки двигателя. Торможение противовключением может быть реализовано в асинхронных двигателях, специально для этого предназначенных [8].

Тормозное устройство является важнейшей составной частью любого электропривода и предназначено для его остановки.

В общем случае оно содержит механическую часть, создающую

тормозной момент (колодочный тормоз, ленточный тормоз, дисковый тормоз, конусный тормоз), и электрическую часть, называемую растормаживающим узлом. Последний предназначен для привода механической части тормозного устройства (растормаживающий магнит, растормаживающий двигатель).

Тормозной двигатель — электрическая часть тормозного устройства электропривода.

В электрических тормозных устройствах с тормозным двигателем вал последнего соединен с тормозной колодкой или диском посредством редуктора с большим коэффициентом редукции. Преимуществом таких тормозных устройств является малый ток потребления при срабатывании устройства и его удержании в рабочем состоянии.

Тороидальная обмотка (ТО) — обмотка, выполненная в виде спирали, намотанной на сердечнике кольцевой формы.

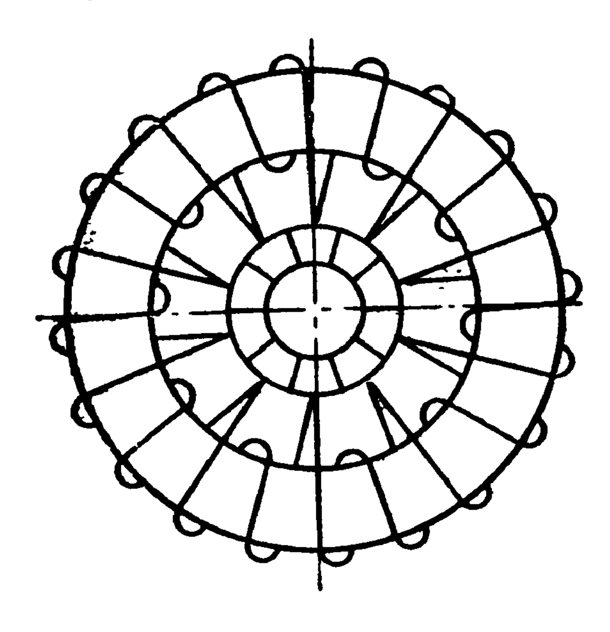


Рис. 169. Тороидальная обмотка

Обычно ТО используется при изготовлении обмоток якоря машин постоянного тока. При этом выводы ее витков присоединяются к пластинам коллектора (рис. 169).

Первые конструкции машин постоянного тока (1860 г.) содержали именно ТО, которые впоследствии были заменены на барабанные обмотки. Основными недостатками ТО являются плохое использование стали и сложность изготовления. К достоинствам ТО относятся высокая ремонтопригодность, возможность питания от источников высокого напряжения, малое количество витков.

Трансформатор (Т) — статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или нескольких других систем переменного тока.

Принцип действия Т основан на использовании взаимной индукции. В зависимости от назначения и условий эксплуатации существует большое количество конструктивных вариантов Т. В самом общем случае Т состоит из магнитной системы, первичной и вторичной обмоток. Магнитная система обеспечивает магнитную связь между обмотками. Различают силовые, преобразовательные, измерительные, регулирующие Т [4].

Трансформатор возбуждения — трансформатор или автотрансформатор, предназначенный для питания вольтодобавочного трансформатора (рис. 170).

Трансформатор напряжения (ТН) — маломощный трансформатор, предназначенный для согласования напряжения электрической сети с напряжением, подаваемым на измерительный прибор (вольтметр).

Обычно ТН преобразуют напряжение свыше 500 В в напряжение 100 В. В конструктивном отношении ТН аналогичен одно- или трехфазному силовому трансформатору. Внешний вид ТН зависит от значения напряжения первичной обмотки, типа изоляции, способа

крепления и подключения к электрической сети и т. д. Ввиду малой мощности ТН (10—300 В·А) в них не используются какие-либо средства для отвода тепла, что позволяет снизить их габариты и упростить монтаж. В то же время в высоковольтных электрических цепях напряжением около 380 кВ применяются ТН размером до 3 м и массой до 2000 кг. Для снижения напряжения на внутреннем сопротивлении ТН используют в режиме, близком к режиму холостого хода. По этой причине подключаемые ко вторичной обмотке измерительные приборы и электрические реле должны иметь высокое внутреннее сопротивление. Точность преобразования напряжения в ТН определяется с помощью классов точности [6].

Трансформатор пониженного напряжения — трансформатор небольшой мощности, напряжение на вторичной обмотке которого не превышает 50 В.

Напряжение на вторичной обмотке может иметь следующие значения: 42, 24, 12 и 6 В. При прямом прикосновении к токоведущим частям с пониженным напряжением опасность для жизни человека не возникает.

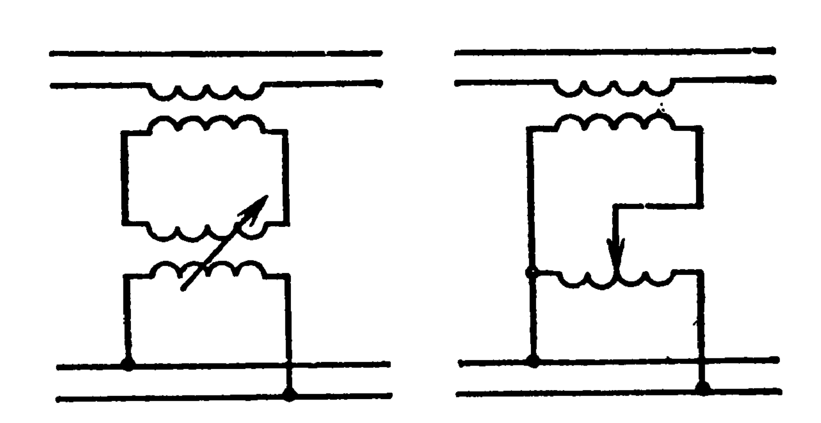


Рис. 170. Трансформатор возбуждения

При изготовлении трансформатора должны соблюдаться следующие требования:

между первичной и вторичной обмотками и элементами конструкции не должно быть гальванической связи;

напряжение вторичной обмотки не должно быть выше 50 В;

отклонение напряжения вторичной обмотки от номинального значения не должно быть более ±5 %.

Трансформатор с раздвижной магнитной системой — регулируемый трансформатор, в котором изменение магнитной связи между обмотками с целью регулирования выходного напряжения осуществляется смещением обмоток относительно друг друга вдоль оси стержня.

Магнитная система трансформатора содержит неподвижный стержень и два аксиально перемещающихся ярма. В окнах стержня расположены катушки вторичной обмотки, включенные последовательно-встречно и образующие разные по величине и противоположные по направлению магнитные потоки Φ_1 и Φ_2. Первичная обмотка трансформатора расположена в средней части стержня магнитной системы (рис. 171). В крайних положениях *А* и *С* ярм трансформатор работает как трансформатор броневого типа. Расположенная снаружи вторичная обмотка концентрически охватывает первичную обмотку, и в первой из них индуцируется напряжение в соответствии с коэффициентом трансформации.

При смещении ярма из положения *А* через промежуточное положение *В* (рис. 171) в другое крайнее положение *С* происходит уменьшение магнитного потока Φ_1 и одновременное увеличение потока Φ_2. Это приводит к тому, что в среднем положении потоки Φ_1 и Φ_2 равны и противоположны по знаку, вследствие чего напряжеиие на вторичной обмотке равно нулю.

Схемы включения обмоток трансформатора с раздвижной маг-

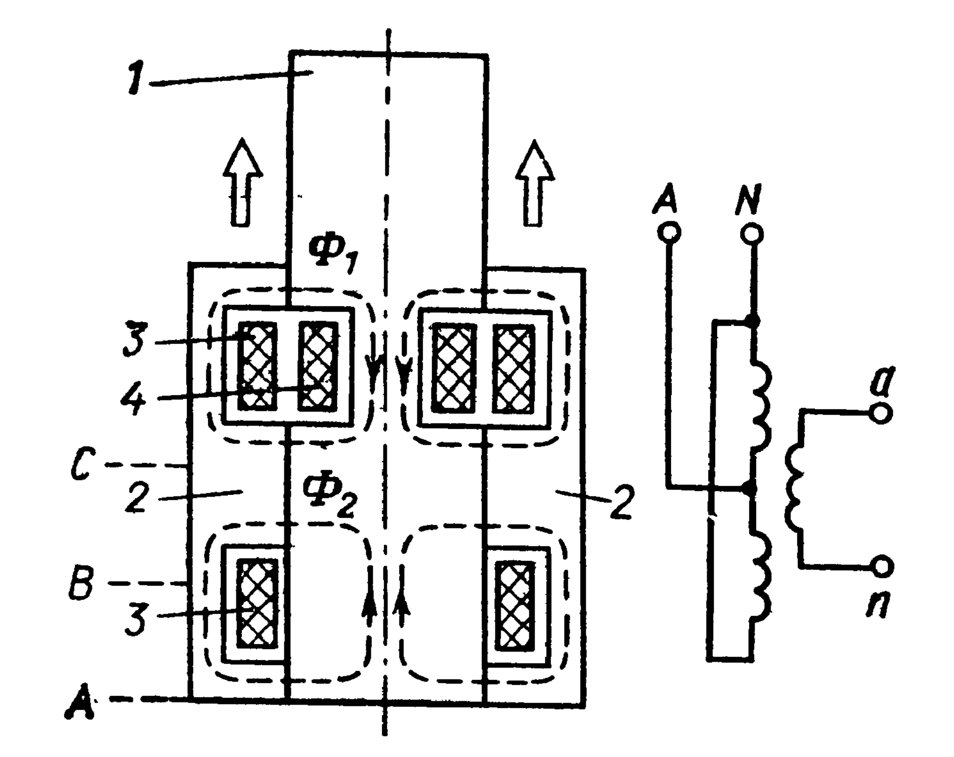


Рис. 171. Трансформатор с раздвижной магнитной системой:

1 — центральный стержень и *2* — ярмо магнитной системы; *3* — первичная и *4* — вторичная обмотки; Ф — магнитный поток

нитной системой весьма многообразны и зависят от схемы подключения электропотребителя к питающей сети.

Трансформатор с регулированием витков — регулируемый трансформатор, выходное напряжение которого изменяется путем переключения витков первичной и вторичной обмоток.

В данных трансформаторах осуществляется не дискретное, а плавное изменение количества витков обмоток. При этом токосъем в переключающем устройстве обеспечивается скользящим контактом, перемещающимся по зачищенным участкам витков обмоток в их осевом направлении.

В сухих и масляных трансформаторах встречаются следующие диапазоны регулирования выходного напряжения:

полное регулирование напряжения от 0 до U_{max} (рис. 172, *а*);

полное регулирование напряжения с изменением его фазы на 180° при переходе через нулевое значение (рис. 172, *б*);

полное регулирование напряжения с двумя независимыми регуляторами (рис. 172, *в*).

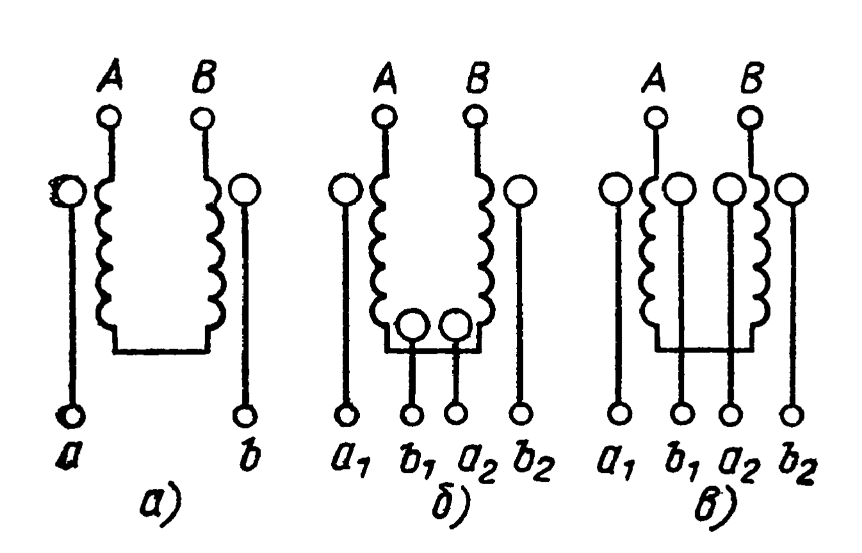


Рис. 172. Трансформатор с регулированием витков

Трансформатор тока (ТТ) — измерительный трансформатор, ток в первичной обмотке которого пропорционален току во вторичной обмотке и совпадает с ним по фазе.

Первичная обмотка ТТ включается в электрическую цепь последовательно с потребителем, ток которого необходимо определить. К выводам вторичной обмотки ТТ подключается либо амперметр с диапазоном измерения тока 1—5 А, либо токовое реле. Для снижения погрешности преобразования, обусловленной током намагничивания и потерями в стали магнитной системы, ТТ работает в режиме короткого замыкания. По этой причине включаемые во вторичную цепь ТТ реле, измерительные приборы и соединительные провода должны обладать малым сопротивлением [6].

Трансформатор тяговый — трансформатор, предназначенный для питания тяговых электродвигателей железнодорожного электрифицированного транспорта.

Трансформаторы имеют однофазное исполнение и выполняются, как правило, по схеме автотрансформатора. Напряжение вторичной обмотки составляет 15 кВ, частота напряжения — $16^2/_3$ Гц, мощность — около 3000 кВ·А. Помимо основной обмотки имеются дополнительные вторичные обмотки для нагревательного оборудования (около 600 кВ·А) и для вспомогательных нужд (около 80 кВ·А). При частоте напряжения 50 Гц мощность трансформатора достигает 6200 кВ·А со значениями напряжения 10 и 25 кВ. Тяговые трансформаторы выполняют также функции пускового и выпрямительного трансформаторов. В этом случае их магнитная система выполняется трехстержневой и на двух крайних стержнях располагаются основные обмотки. На среднем стержне располагается обмотка, подключенная к выпрямителю. Сечение крайних стержней магнитной системы в 2 раза меньше сечения среднего стержня, и на них располагаются регулируемые основные обмотки и обмотка для собственных нужд. При мощности трансформатора 4400 кВ·А мощность электрических нагревателей составляет 400 кВ·А, мощность электропотребителей собственных нужд — 150 кВ·А [4].

Трансформатор электрической печи — одно- или трехфазный трансформатор, предназначенный для питания нагревательных элементов электрической печи.

При образовании электрической дуги или прохождении тока через резисторы происходит выделение тепловой энергии, используемой для нагревания или плавления металлов, стекла и других материалов. Для повышения коэффициента теплопередачи активная зона печи заполняется газовой смесью. Напряжение и ток вторичной обмотки трансформатора определяются физическими свойствами газовой среды и размерами обрабатываемой детали. В настоящее время напряжение и ток вторичной обмотки находятся в пределах соответственно 400 В и 110 кА. Напряжение вторичной обмотки, как правило, изменяется в небольших пределах (около 16 %). Для снижения бросков тока, возникающих в процессе изменения структуры и состояния нагреваемого материала, применяются сглаживающие дроссели.

Трансформаторная сталь — магнитомягкое вещество, используемое для изготовления магнитных систем трансформаторов.

В ранних конструкциях трансформаторов использовалась горячекатаная сталь. В настоящее время она заменена на холоднокатаную сталь с ориентацией направления прокатки относительно структуры стали (текстурованная сталь), потери в которой существенно меньше потерь в горячекатаной стали. Магнитная система трансформатора набирается из отдельных листов толщиной 0,35—0,5 мм. Каждый лист покрыт слоем электроизоляционного материала (синтетическим лаком, керамикой, окисной пленкой) и легирован кремнием. Качество трансформаторной стали характеризуется удельными потерями.

Третичная обмотка трансформатора — дополнительная обмотка силового трехфазного трансформатора с группой соединения основных обмоток УУ-0.

Третичная обмотка соединяется по схеме треугольник и не ис-

пользуется для питания нагрузки. Благодаря ей становится возможной несимметричная нагрузка трансформатора без смещения нейтрали.

Трехстержневая магнитная система (магнитная система трансформатора).

Трехстержневая несимметричная магнитная система — магнитная система трансформатора, в которой отдельные стержни могут отличаться от других стержней по форме, конструкции, размерам или взаимное расположение какого-либо стержня по отношению к другим стержням или ярмам может отличаться от расположения любого другого стержня.

Магнитные сопротивления стержней системы имеют различные значения. По этой причине ток намагничивания первичной обмотки, установленной на среднем стержне, меньше, чем ток намагничивания аналогичных обмоток двух крайних стержней [4].

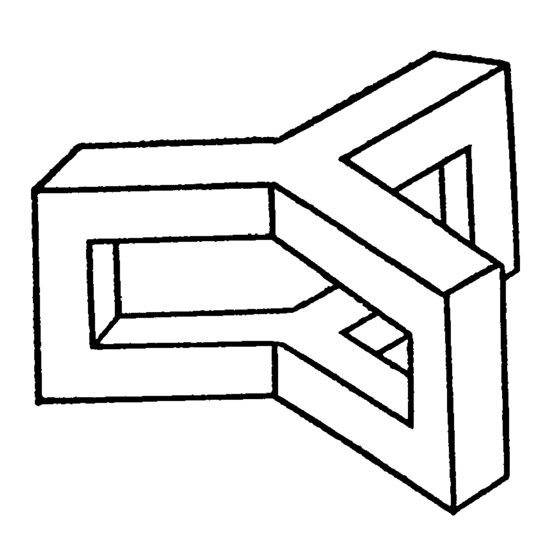


Рис. 173. Трехстержневая симметричная магнитная система

Трехстержневая симметричная магнитная система — магнитная система (магнитопровод) трансформатора, в которой все стержни имеют одинаковую форму, конструкцию и размеры, а взаимное расположение любого стержня по отношению ко всем ярмам одинаково для всех стержней (рис. 173).

В технологическом отношении симметричная система уступает трехстержневой несимметричной магнитной системе и занимает большой объем. Основным преимуществом симметричной системы является равенство магнитных сопротивлений стержней, следствием чего является равномерное распределение токов намагничивания в обмотках, расположенных на этих стержнях [4].

Трехфазная обмотка (обмотка переменного тока).

Трехфазное переменное напряжение — многофазное переменное напряжение, образованное системой из трех однофазных синусоидальных напряжений с одинаковыми частотами и действующими значениями напряжений и с относительным фазовым сдвигом в 120°.

Трехфазное напряжение может быть образовано тремя отдельными источниками однофазного переменного напряжения. При этом благодаря взаимному сдвигу фаз указанных напряжений в 120° их сумма в любой момент времени равна нулю. Это свойство трехфазного напряжения с учетом количества фазных проводов используется при соединении фазных обмоток генераторов переменного тока по схемам звезда и треугольник. Указанные схемы соединения не пригодны для многофазных систем переменного тока с числом фаз более трех, что приводит к увеличению массы и количества проводов распределительной сети [1].

Трехфазный автотрансформатор — трехфазный трансформатор, первичная обмотка которого имеет гальваническую связь со вторичной обмоткой (автотрансформатор).

При соединении последовательно включенных обмоток автотрансформатора по схеме звезда (рис. 174, *а*) напряжения первичной и вторичной обмоток совпадают по фазе (рис. 174, *б*) и коэффициент трансформации может принимать любое значение. При включении

обмоток по схеме треугольник коэффициент трансформации не может быть более двух (рис. 174, *в*), причем угол фазового сдвига напряжений первичной и вторичной обмоток зависит от значения коэффициента трансформации. Так, например, при $k_{тр}=2$ угол сдвига равен 60° (рис. 174, *г*).

Трехфазный комплект щеток (коллекторный двигатель переменного тока последовательного возбуждения).

Трехфазный переменный ток возникает под действием трехфазного переменного напряжения и при угловом смещении обмоток трехфазной машины переменного тока в 120° образует вращающееся электромагнитное поле [1].

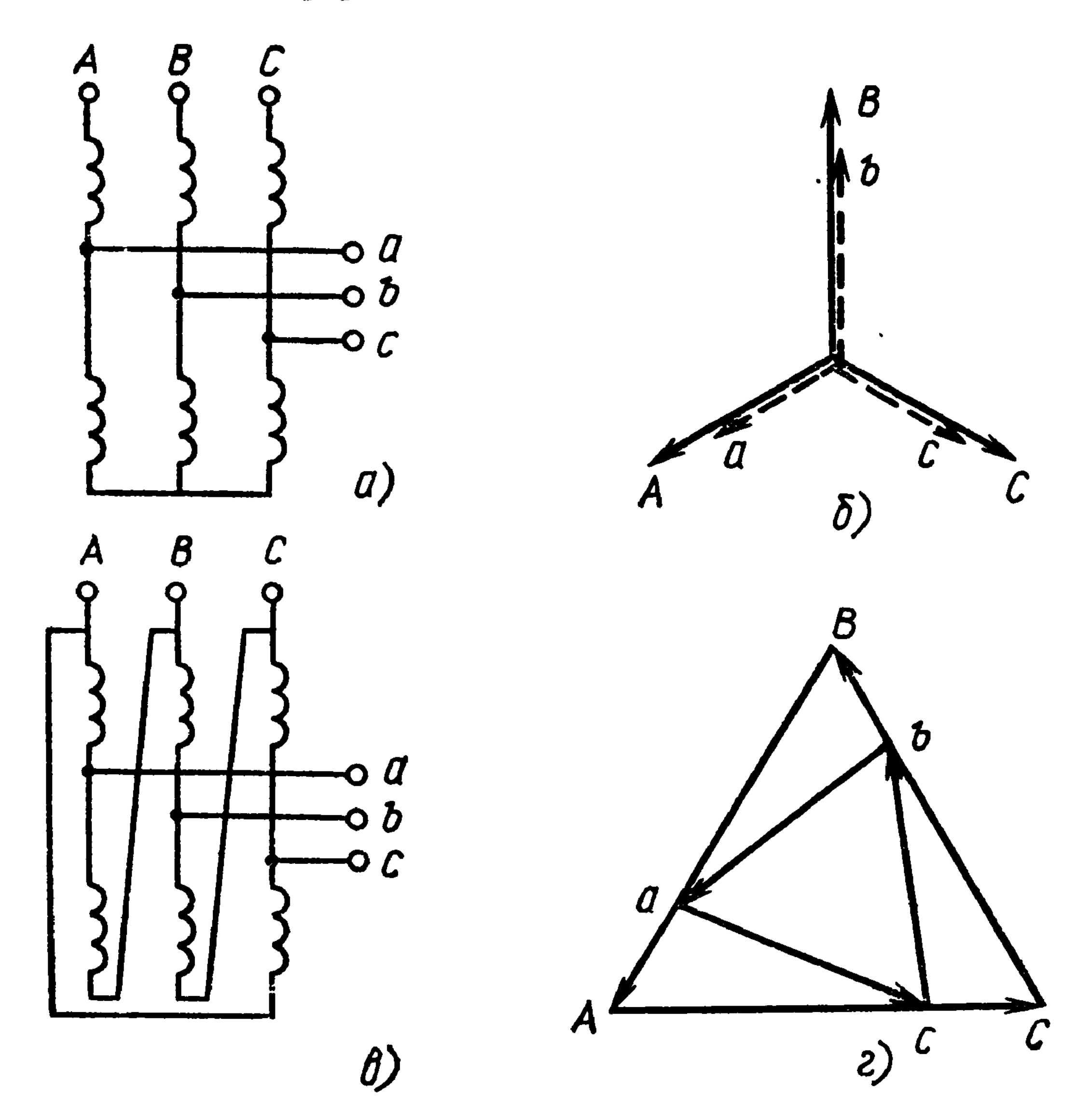


Рис. 174. Трехфазный автотрансформатор

Трехфазный трансформатор — трансформатор для преобразования трехфазного переменного тока, содержащий, как правило, трехстержневую магнитную систему, на каждом стержне которой расположены фазная первичная и вторичная обмотки. В мощных силовых трехфазных трансформаторах находят применение пятистержневые магнитные системы. Вторичная обмотка содержит три или шесть фазных обмоток. Указанные обмотки включаются по схемам звезда, треугольник, зигзаг и в зависимости от комбинации этих схем для первичной и вторичной обмоток образуют соответствующие группы соединения обмоток трансформатора.

Трубчатый бак трансформатора (бак трансформатора).

Турбогенератор — синхронный генератор, предназначенный для привода от паровой или газовой турбины [2].

Тяговая характеристика коммутационного аппарата представляет собой зависимость развиваемого электромагнитом коммутацион-

ного аппарата тягового усилия от положения якоря электромагнита в процессе включения коммутационного аппарата.

При преобразовании вращательного движения якоря электромагнита в поступательное и наоборот происходит изменение создаваемого рабочим органом усилия, даже если тяговое усилие электромагнита остается неизменным. Кроме того, в процессе хода якоря на него действуют возвратные пружины, возвращающие якорь при обесточенной обмотке в исходное состояние. Если учесть, что при срабатывании электромагнита изменяется также длина рабочего зазора между ярмом и якорем, что приводит к изменению сопротивления магнитной цепи, то станет ясно, что тяговая характеристика имеет существенно нелинейный характер. Для надежного срабатывания аппарата необходимо, чтобы тяговая характеристика лежала выше характеристики, отражающей обратное действие указанных пружин и массы якоря.

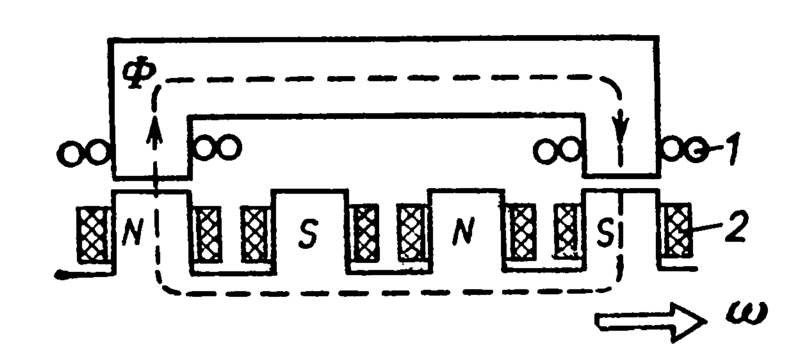


Рис. 175. Тяговый двигатель пульсирующего тока:

1, 2 — обмотки якоря и возбуждения; *N*, *S* — полюсы

Тяговый двигатель постоянного тока — двигатель постоянного тока, предназначенный для привода колес подвижного состава.

Конструктивное исполнение тягового двигателя в значительной мере определяется параметрами питающего напряжения. Так, например, на локомотивах используется напряжение постоянного тока с номиналами 1,2; 1,5; 2,4 и 3 кВ, для электропитания трамваев и троллейбусов используется напряжение 600 В, в метрополитене — преимущественно 750 В. На железнодорожном транспорте в качестве питающего напряжения используется также напряжение переменного тока 15 кВ, $16^{2/3}$ Гц и 25 кВ, 50 Гц [2].

Тяговый двигатель пульсирующего тока — коллекторный двигатель, предназначенный для привода железнодорожных вагонов и локомотивов.

Схема включения обмоток соответствует схеме включения обмоток двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением. Обмотка дополнительных полюсов и компенсационная обмотка включены отдельно, и их зажимы выведены в клеммную коробку. Параллельно обмотке дополнительных полюсов включен резистор (рис. 175).

Механическая характеристика соответствует механической характеристике двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением. Поле возбуждения создается обмоткой, установленной на роторе.

Благодаря трансформации напряжения ток возбуждения через короткозамкнутые щетки протекает и при неподвижном состоянии ротора. При длительной работе тягового двигателя происходит сильный нагрев коллектора, поэтому для его питания используется переменное напряжение пониженной частоты $16^{2/3}$ Гц. В отличие от

двигателей постоянного тока тяговые двигатели пульсирующего тока питаются повышенным напряжением 15 кВ. Установленный на локомотиве понижающий трансформатор позволяет получить нужные напряжения 400, 600 В для остального электрооборудования локомотива.

Тяжесть пуска — один из критериев оценки процесса пуска электропривода, который в первую очередь определяется значением и характером изменения момента нагрузки механизма электропривода. Наибольшей тяжестью пуска обладают электроприводы с большим моментом инерции ротора двигателя, например электроприводы конвейеров, шаровых мельниц. Вследствие значительного времени разгона таких электроприводов происходит интенсивный нагрев активных частей двигателя пусковым током. Одновременно увеличивается падение напряжения от пускового тока в питающей сети. Эффективным средством снижения тяжести пуска является разгон электропривода на холостом ходу с последующим присоединением нагрузки с помощью, например, электромагнитной муфты.

У

Угол магнитной системы — место сочленения пластин стержня и ярма в шихтованной магнитной системе или пакетов пластин стержня и ярма в стыковой магнитной системе.

В стыковых магнитных системах используются прямой стык (рис. 176), при котором пластины сохраняют прямоугольную форму (стык под углом в 90°), и косой стык, при котором пластины или пакеты в месте сочленения срезаны под углом, близким к 45° к продольной оси пластин. Прямой стык является более технологичным, но образует большой зазор между ярмом и стержнями. В результате увеличивается ток намагничивания трансформатора [4].

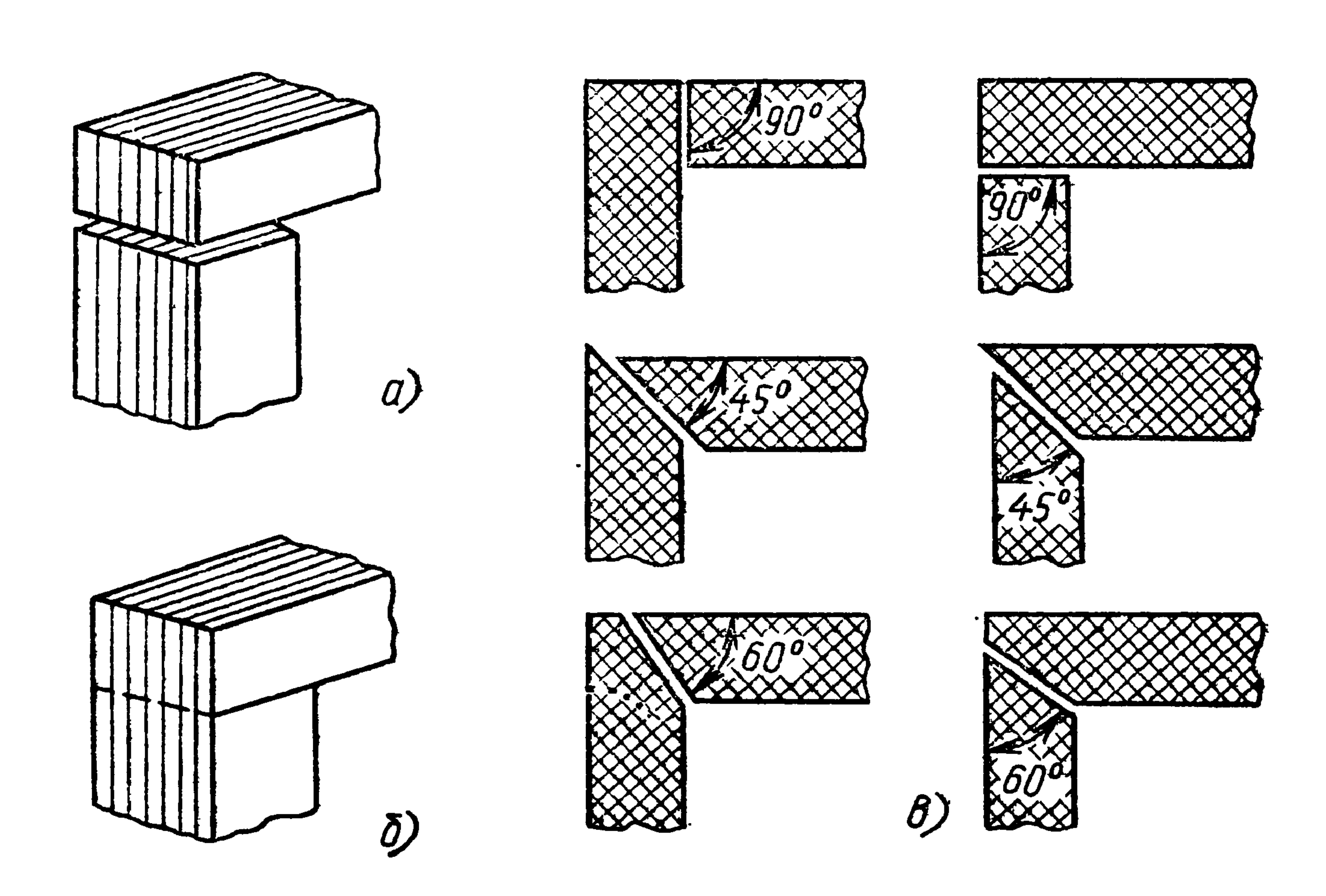


Рис. 176. Угол магнитной системы

Угол сдвига фаз — угол, измеряемый в электрических градусах и указывающий значение сдвига фаз. Условное обозначение — φ. Для двух синусоидально изменяющихся величин при равенстве их частот угол сдвига фаз определяется при их нулевых значениях.

Угольный регулятор — электромеханический регулятор, предназначенный для стабилизации или регулирования напряжения в электрических цепях постоянного и переменного тока.

В качестве регулирующего элемента используется столбик, набранный из тонких круглых угольных пластин, удерживаемых с помощью пружины. Чувствительным элементом является электромагнит, обмотка которого подключена к контролируемой цепи, например к обмотке якоря синхронного генератора или генератора постоянного тока. Якорь электромагнита имеет кинематическую связь с регулятором силы натяжения пружины. Угольный столбик включен в цепь возбуждения генератора. При увеличении напряжения на обмотке якоря увеличивается сила тяги электромагнита, ослабляющего действие пружины, вследствие чего уменьшается прижимное усилие между угольными пластинами. Это в свою очередь приводит к увеличению активного сопротивления угольного столбика и к снижению тока в обмотке возбуждения, а следовательно, и к снижению напряжения на обмотке якоря генератора. При снижении выходного напряжения генератора процесс регулирования протекает в обратном направлении.

Ударный ток короткого замыкания (защита генератора).

Удельная проводимость проводника — физическая величина, характеризующая проводящие свойства проводников, прямо пропорциональная проводимости 1 м проводника и обратно пропорциональная его сечению. Единица измерения — См·м/мм². Для медного проводника удельная проводимость равна 56, а для алюминиевого проводника — 35 См·м/мм² [7].

Удельное сопротивление — физическая величина, характеризующая способность вещества проводить электрический ток.

Услозное обозначение — ρ, единица измерения — Ом·мм²/м:

$$\rho = \frac{RS}{l},$$

где R — сопротивление, Ом; S — сечение, мм², и l — длина провода, м.

Удельное сопротивление проводов определяется как сопротивление провода длиной 1 м и сечением 1 мм². Для меди ρ = =0,0178 Ом·мм²/м, для алюминия ρ=0,0286 Ом·мм²/м [1].

Универсальный коллекторный двигатель (УКД) — однофазный коллекторный двигатель переменного тока последовательного возбуждения, предназначенный для работы при питании его переменным или постоянным током.

Симметрично относительно обмотки ротора включены обмотки возбуждения и конденсаторы (рис. 177, *а*). Ввиду того что обмотки возбуждения питаются переменным током, магнитопровод УКД должен быть шихтованным, чтобы уменьшить потери на перемагничивание стали. На рис. 177, *б* представлено поперечное сечение УКД, ротор которого конструктивно идентичен якорю машины постоянного тока.

Обычно УКД изготовляются мощностью от 10 до 500 Вт при номинальном напряжении 220 В (реже 110 В). Маломощные УКД

могут работать с частотой вращения 10 000 об/м и выше. Искрение на коллекторе УКД значительно больше искрения коллекторных машин постоянного тока, поскольку у УКД отсутствует компенсационная обмотка. Возникающие при коммутации электромагнитные помехи фильтруются с помощью конденсаторов.

Частота вращения УКД сильно зависит от момента нагрузки на валу. При мощности около 200 Вт частота вращения УКД несколько выше при питании от сети постоянного тока, чем от сети переменного тока. Для выравнивания частот вращения в этом случае используются обмотки возбуждения с отпайками. УКД широко используются в бытовом электрооборудовании [3].

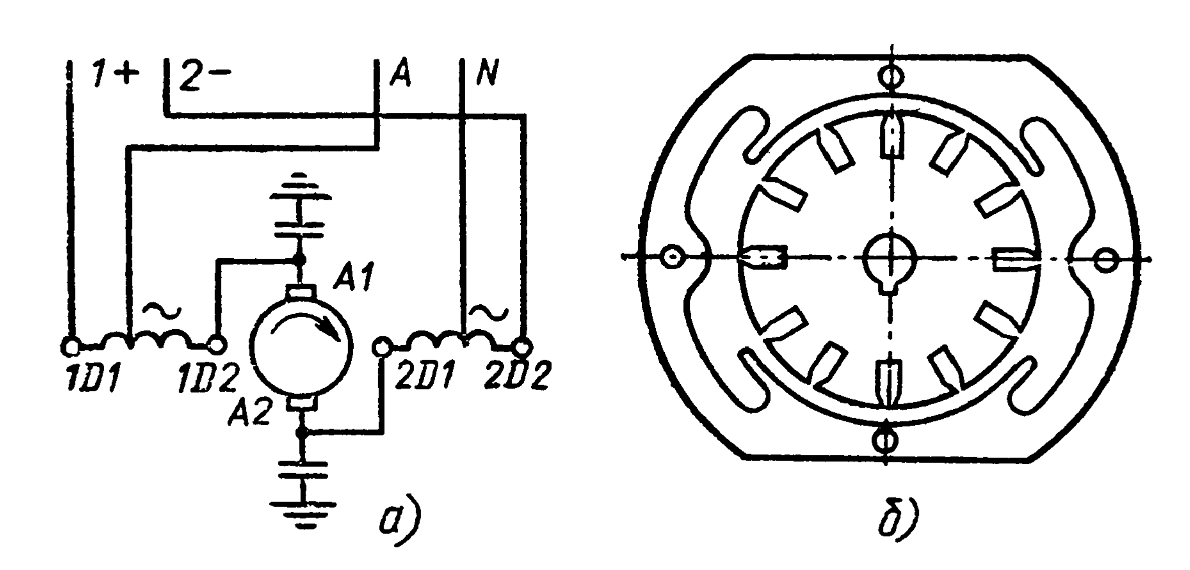


Рис. 177. Универсальный коллекторный двигатель:

а — схема включения; *б* — лист пакета статора

Униполярная конструкция — конструктивное исполнение ротора синхронного генератора, в котором обмотка возбуждения неподвижна, а на роторе выполнены зубцы прямоугольной формы.

На рис. 178 представлены схема расположения ротора и индуктора с обмоткой возбуждения и рабочей обмоткой, а также контур, по которому замыкается магнитный поток Ф.

Управляющее воздействие — входной сигнал системы автоматического регулирования, воздействующий через регулятор на объект регулирования с целью изменения параметра регулирования.

В электрических и электронных устройствах управляющее воздействие формируется в виде электрического сигнала аналоговой или цифровой формы. Энергия сигнала должна быть достаточной для приведения в действие регулятора с целью изменения какого-либо параметра объекта регулирования.

Управляющий трансформатор — трансформатор мощностью от 100 до 4500 В·А, предназначенный для питания блоков системы автоматического управления.

Уравнение электродвигателя (принцип работы электродвигателя).

Уравнения трансформатора — математические выражения, описывающие процесс преобразования энергии в трансформаторе.

Напряжение, наводимое в обмотке трансформатора, может быть определено с помощью следующего дифференциального уравнения:

$$U = w d\Phi / dt,$$

где w — количество витков обмотки; Ф — магнитный поток; t — время; d/dt — знак производной.

На практике более часто используется следующее выражение:

$$U = 4{,}44 f w \Phi,$$

где f — частота переменного тока.

Уравнительные соединения — гальванические связи между секциями многослойных петлевых и волновых обмоток электрических машин постоянного тока, предотвращающие дополнительную токовую нагрузку обмотки и коллектора.

Причиной неравномерной токовой нагрузки секций обмотки, приводящей к ухудшению условий работы щеточно-коллекторного узла, является магнитная асимметрия машины. Уравнительные соеди-

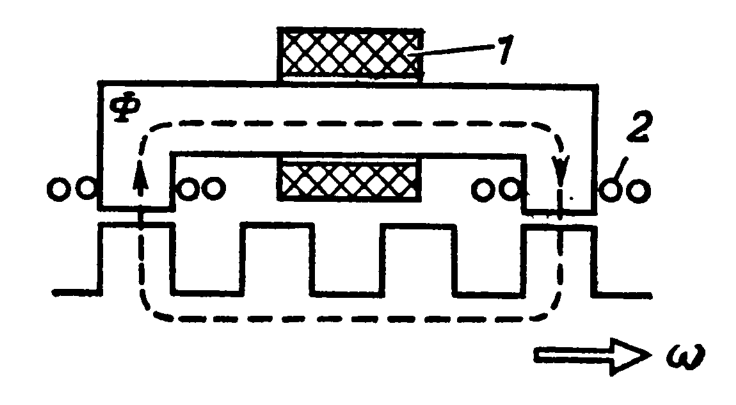


Рис. 178. Униполярная конструкция:

1 — обмотка возбуждения; *2* — основная обмотка

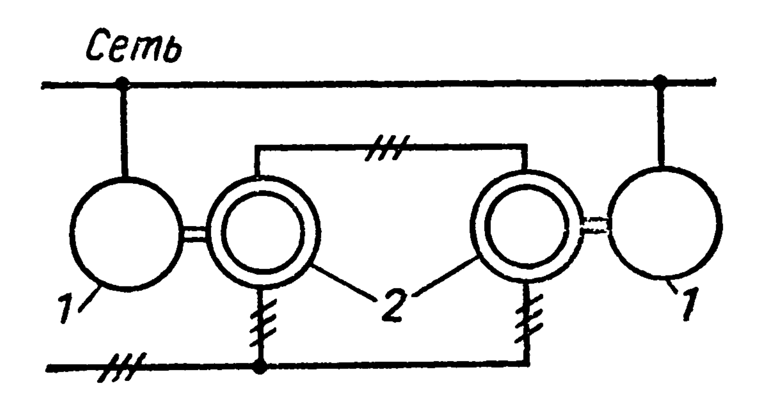


Рис. 179. Уравнительный вал:

1 — основные и *2* — вспомогательные машины

нения выполняются либо на стороне коллектора, либо на стороне лобовых частей обмотки и соединяют равнопотенциальные точки обмотки, разность потенциалов между которыми появляется по указанной причине.

Уравнительный вал (электрический вал) — электропривод, в котором синхронное вращение двух не связанных между собой механически двигателей обеспечивается с помощью вспомогательных машин (рис. 179).

В качестве вспомогательных машин могут использоваться асинхронные двигатели с фазным ротором или синхронные машины. Их обмотки статора подключены к сети, а обмотки ротора соединены пофазно последовательно. Вал каждой вспомогательной машины механически соединен с валом соответствующей основной машины, причем мощность вспомогательной машины, способной работать в режиме двигателя или генератора, соответствует максимально ожидаемой разности моментов нагрузки на валах основных двигателей [10].

Уравнительный дроссель (параллельная работа трансформаторов).

Уравнительный ток возникает между соединенными параллельно генераторами или прочими источниками электроэнергии с отличающимися значениями напряжений.

Уровень защиты от перенапряжений — максимально допустимое значение напряжения в любой точке электротехнического устройства, не приводящее к нарушению его работоспособности.

Уровень защиты от перенапряжения зависит от класса используемого электроизоляционного материала и от параметров (влажность, температура, давление) окружающей среды.

Усилитель — преобразователь энергии, осуществляющий преобразование маломощного входного сигнала в пропорционально изменяющийся выходной сигнал большей мощности.

По типу используемой и преобразуемой энергии усилители разделяются на электрические, гидравлические и пневматические, а также на усилители-преобразователи, в которых входной сигнал одного рода преобразуется в выходной сигнал другого рода. К последним относятся тахогенератор (преобразование механической энергии в электрическую), порошковые электромагнитные муфты (преобразование электрического тока во вращающий момент) и т. д. Усилители, использующие энергию электрического тока, подразделяются на электронные и электромагнитные. К электромагнитным усилителям относятся электромеханические реле, магнитные усилители, дроссели насыщения.

Условия параллельной работы — требования, соблюдение которых позволяет обеспечить устойчивую параллельную работу двух и более трансформаторов или генераторов переменного тока.

Для обеспечения параллельной работы трансформаторов необходимо, чтобы все трансформаторы имели одинаковый коэффициент трансформации и примерно одинаковое напряжение короткого замыкания. Отклонение последнего параметра допустимо в пределах ±10 %. При включении на параллельную работу трансформаторов различной мощности соотношение мощностей не должно быть более 1 : 3. Обмотки трансформаторов должны иметь одинаковые группы соединений. При параллельной работе генераторов они должны иметь одинаковые напряжения, совпадающие по частоте и по фазе.

Условное обозначение зажимов — стандартные обозначения зажимов электрических приборов и аппаратов, раскрывающие принадлежность каждого зажима к той или иной конструктивной части прибора или аппарата, например зажимы для подключения выводов обмотки, замыкающего и размыкающего контактов электромеханического реле.

Главные силовые зажимы приборов и аппаратов маркируются последовательностью цифр. Первая половина букв латинского алфавита используется для маркировки аппаратов постоянного тока, вторая половина алфавита — преимущественно для аппаратов переменного тока. При этом используются строчные и прописные буквы, из которых буквы *I* и *O* применять не рекомендуется. Для силовой коммутационной аппаратуры (разъединителей, короткозамыкателей, выключателей) маркировка зажимов стандартизована.

Условное обозначение конструктивного исполнения по способу монтажа. Условное обозначение электрической машины состоит из буквенной части IM и следующих за ней четырех цифр. Первая цифра является номером группы, в которую входит машина по конструктивному исполнению. Всего имеется 9 групп, в каждой из которых машины подразделяются в зависимости от способа монтажа (вторая и третья цифры в условном обозначении). Количество и исполнение концов вала обозначаются с помощью четвертой цифры. Пример условного обозначения электрической машины с двумя

подшипниковыми щитами, на лапах, с горизонтальным валом и одним цилиндрическим концом вала: IM1001 [12].

Условное обозначение режимов работы в соответствии с ГОСТ 17154—71 [8] принято следующим:

номинальный продолжительный;

кратковременный;

повторно-кратковременный;

повторно-кратковременный с частыми пусками;

повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением;

перемежающийся;

перемежающийся с разными частотами вращения;

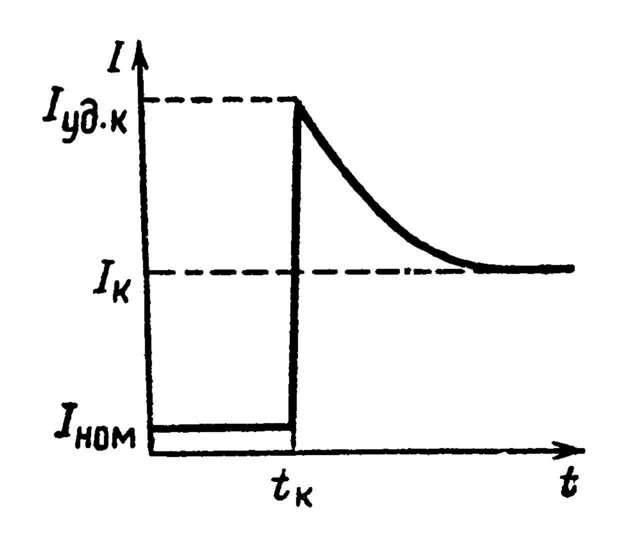


Рис. 180. Установившийся ток короткого замыкания:

$I_{ном}$ — номинальное значение тока; $I_к$, $I_{уд.к}$ — установившийся и ударный токи короткого замыкания; $t_к$ — время возникновения короткого замыкания

перемежающийся с частыми реверсами.

Установившееся состояние — работа электрической вращающейся машины при неизменных электромагнитных, тепловых и механических параметрах [8].

Установившийся ток короткого замыкания — максимальное установившееся значение тока в обмотках трансформатора, работающего в режиме КЗ.

Если вторичную обмотку трансформатора замкнуть накоротко, то в ней возникает переходный процесс, сопровождающийся резким увеличением тока до некоторого максимального значения и последующим его уменьшением до значения установившегося тока КЗ. Первоначальный бросок тока представляет собой ударный ток $I_{уд.к}$ КЗ (рис. 180). Затем в течение нескольких миллисекунд ток $I_{уд.к}$ снижается до установившегося тока КЗ $I_к$. В мощных трансформаторах $I_{уд.к} \approx 1{,}5 I_к$, а в маломощных трансформаторах $I_{уд.к} \approx 2{,}4 I_к$. Ударный ток КЗ вызывает большие электродинамические усилия в обмотках, что нередко приводит к их повреждению. Возникающие усилия имеют аксиальное и радиальное направления. Установившийся ток КЗ можно определить через напряжение КЗ трансформатора следующим образом:

$$I_к = I_1 \frac{100\%}{u_к},$$

где I_1 — номинальный ток первичной обмотки; $u_к$ — напряжение короткого замыкания.

В трансформаторах средней и малой мощности установившийся ток КЗ может в 12—35 раз превышать номинальный ток. В мощных трансформаторах $I_к = (8 \div 12) I_1$ благодаря большому значению $u_к$. Установившийся ток КЗ вызывает повышенный нагрев обмоток трансформатора, вследствие чего время $t_к$ работы трансформатора в этом режиме должно быть ограничено. Так, например, для трансформатора с алюминиевой обмоткой при $u_к = 4$ % $t_к \leqslant 1{,}3$ с, с медной обмоткой при $u_к = 12$ % $t_к \leqslant 12$ с. При защитном отключении трансформаторов время срабатывания расцепителя должно быть не больше времени $t_к$.

Устойчивость машины — свойство электрической машины автоматически поддерживать заданную частоту вращения при внезапном изменении момента нагрузки.

Двигатель с механической характеристикой *1* нагружен на производственный механизм, момент которого (прямая *2* на рис. 181) не зависит от частоты вращения: $M_н = \text{const}$. Устойчивая работа привода возможна в окрестности точки *A*. Автоматическое регулирование частоты вращения осуществляется следующим образом (для точки *A*). Если под влиянием момента нагрузки частота вращения двигателя уменьшается, происходит увеличение его момента, вследствие чего нарушается статическое равновесие между моментом нагрузки и моментом двигателя. Возникающий при этом положительный динамический момент стремится восстановить прежнюю частоту вращения двигателя. При уменьшении частоты вращения двигателя наблюдается обратная картина. В окрестности точки *B* снижение частоты вращения двигателя приводит к снижению его момента, что влечет за собой еще большее снижение частоты вращения, и так далее до полной остановки двигателя. Таким образом, в окрестности точки *B* двигатель не обладает устойчивостью.

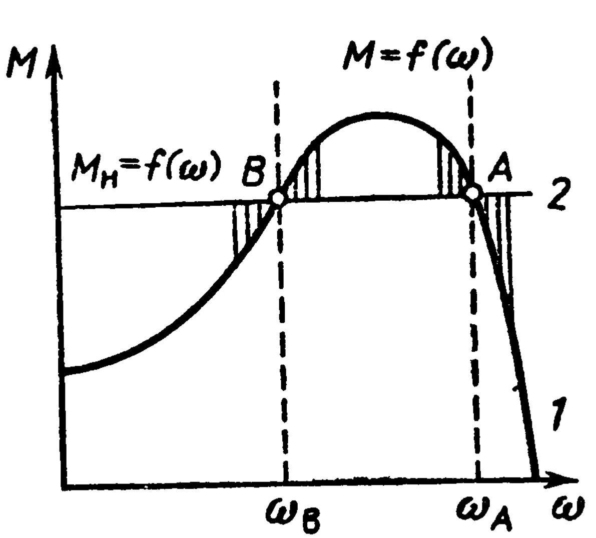


Рис. 181. Устойчивость машины

Устойчивость к динамическим перегрузкам (коэффициент перегрузки).

Устойчивость к токам короткого замыкания — способность электротехнических устройств выдерживать токи короткого замыкания без нарушения работоспособности, оцениваемая с точки зрения механической и термической прочности.

Устройство газовой защиты трансформатора (УГЗТ) — аппарат для защиты мощных масляных трансформаторов от внутренних повреждений (защита трансформатора).

Принцип работы УГЗТ заключается в следующем. При возникновении повреждений внутри трансформатора, например при перегреве магнитопровода, при межвитковом замыкании обмоток, являющемся следствием их локального перегрева или повреждения изоляции, происходит усиленное газообразование в масляной среде, причем пузырьки газа поднимаются вверх.

При возникновении внутри трансформаторного бака электрической дуги происходит интенсивное испарение масла, следствием чего является повышение уровня масла в баке и выталкивание его в рас-

ширитель. Аналогичный процесс происходит и при газообразовании.

Обычно УГЗТ расположено в трубопроводе, соединяющем бак трансформатора с расширителем, и заключено в герметичный корпус цилиндрической или иной формы. Основным элементом УГЗТ является двухпоплавковое реле, один поплавок которого расположен у основания корпуса, а другой — в верхней его части. При этом входная и выходная трубки трубопровода также расположены ближе к основанию корпуса УГЗТ. При незначительных повреждениях внутри трансформатора корпус УГЗТ постепенно заполняется маслом, при достижении которым верхнего поплавка последний изменяет свое положение и замыкает электрический контакт, подключенный к входу блока сигнализации (звуковой или световой). При более серьезных повреждениях происходит резкое увеличение объема мас-

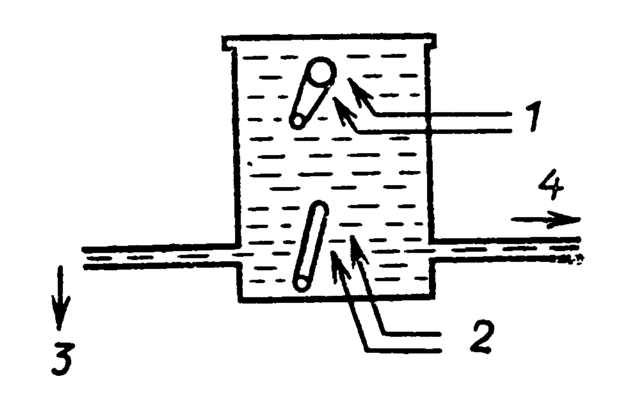


Рис. 182. Устройство газовой защиты трансформатора:

1 — поплавок сигнализации; 2 — поплавок защитного отключения; 3 — к масляному баку; 4 — к расширителю

ла, а следовательно, и его давления в корпусе УГЗТ, причем возникающий при этом гидравлический удар направлен на нижний поплавок. Последний изменяет свое положение и замыкает электрический контакт, включенный в цепь управления силового выключателя. Это приводит к отключению трансформатора. Чувствительность нижнего поплавка к изменению скорости масла колеблется в пределах от 50 до 150 см/с. Нижний поплавок срабатывает также и в том случае, если в баке вследствие утечки уровень масла понизится ниже допустимого. Защитное отключение трансформатора производится без выдержки времени (рис. 182).

Преимущество УГЗТ перед устройством электрической защиты заключается в высокой чувствительности первого, поскольку газообразование происходит даже при незначительных повреждениях.

Устройство защиты от короткого замыкания — совокупность технических средств, предназначенных для ограничения тепловых и механических перегрузок элементов электрооборудования, обусловленных действием тока КЗ.

В качестве защиты от КЗ используются плавкие предохранители и электромагнитные расцепители. Для предотвращения отключения всего электротехнического устройства или комплекса при локальных повреждениях используется селективная защита, в которой последовательность отключения поврежденного участка задается в направлении от единичного электропотребителя к их группе, от группы — к нескольким группам и так далее до полного обесточивания устройства или комплекса. Такой режим работы обеспечивается выбором уставок срабатывания устройства защиты от КЗ.

Устройство защиты от корпусного напряжения — схема защиты, предназначенная для отключения электрического устройства при повреждении его изоляции и появлении напряжения на корпусе.

Для реализации защитного отключения в данном устройстве контролируется напряжение на корпусе относительно земли (рис.

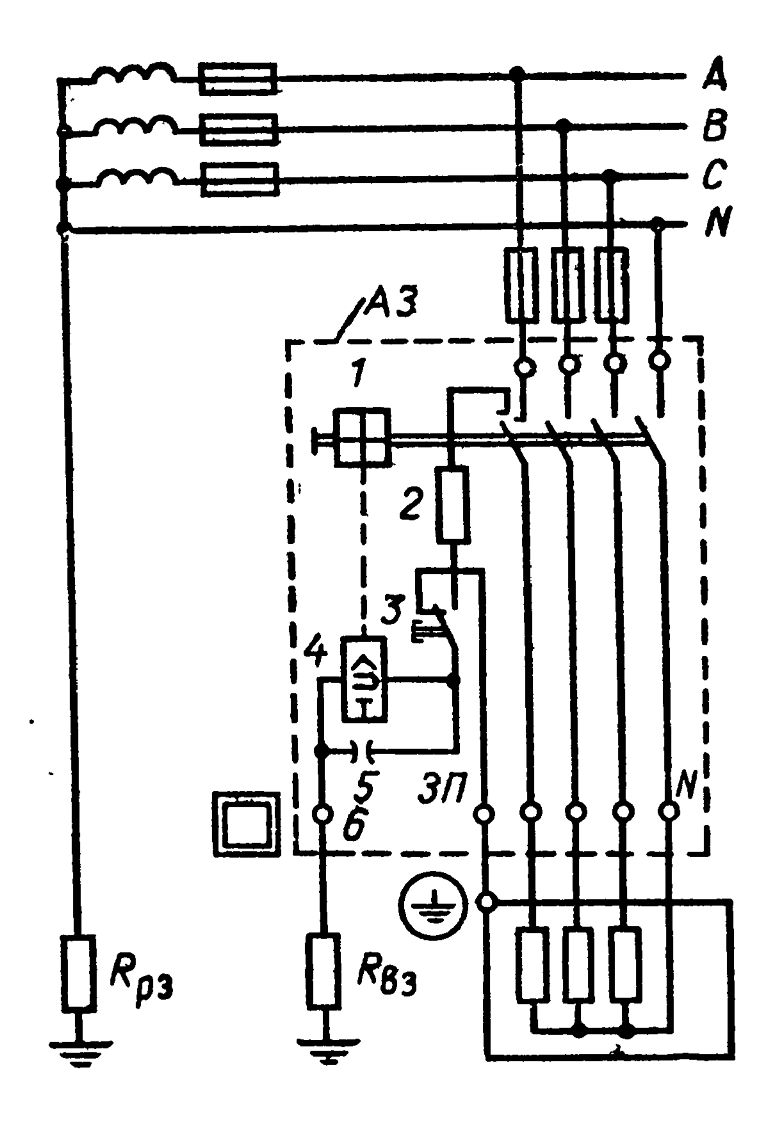


Рис. 183. Устройство защиты от корпусного напряжения:

1 — исполнительный механизм коммутационного аппарата; *2* — измерительный резистор; *3* — кнопка; *4* — реле напряжения; *5* — разрядник; *6* — вспомогательный провод заземления; *ЗП* — защитный провод; $R_{рз}$ — рабочее заземление; $R_{вз}$ — вспомогательное заземление; *АЗ* — автомат защиты

183). В качестве чувствительного элемента, по которому в случае повреждения изоляции протекает ток утечки, используется высокоомный резистор, включенный между корпусом и землей. Напряжение на резисторе контролируется с помощью измерительного блока, и при превышении заданного допустимого значения указанного напряжения подается команда на отключение коммутационного аппарата, отключающего электродвигатель с поврежденной изоляцией. При настройке рассматриваемого устройства следует помнить о том, что в отдельных случаях измерительный резистор может быть зашунтирован дополнительным соизмеримым с ним по значению сопротивлением вследствие большой влажности окружающей среды, например в электроприводах водяных насосов. Это обстоятельство может явиться причиной отказа схемы защиты. Поэтому необходимо тщательно изолировать от земли все соединительные провода, относящиеся к устройству защиты. В современном электрооборудовании описанные устройства практически не используются, поскольку они вытеснены более совершенными устройствами защиты от тока утечки.

Устройство защиты от тока утечки — схема защиты, предназначенная для отключения электрического устройства при повреждении его изоляции и появлении тока утечки.

В данном устройстве токоведущие провода подключаются к питающей сети через автомат защиты, управляющий вход которого подключен к выходу блока измерения тока утечки. Корпуса всех электрических приборов и аппаратов, используемых в конкретной электрической установке, присоединяются к защитному проводу, подключенному к земле через высокоомный резистор. Принцип работы устройства основан на сравнении токов в нулевом и защитном проводах (рис. 184).

В нормальном режиме работы геометрическая сумма токов, поступающих на сумматор, равна нулю и на выходе измерительного блока сигнал отсутствует. При повреждении изоляции и появлении тока утечки баланс токов нарушается, что приводит к срабатыванию автомата защиты. Благодаря быстрому отключению напряжения обеспечивается локализация повреждения питания, что повышает вероятность восстановления электрической прочности поврежденного участка.

Подобные устройства нашли применение в одно- и многофазных

цепях переменного тока с изолированной нейтралью, используемых, например, в сельскохозяйственных электроустановках. Они помимо повышения электробезопасности позволяют снизить вероятность возникновения пожара из-за локального перегрева места повреждения.

Устройство защиты трансформатора от перенапряжения — устройство, шунтирующее участок электрической цепи трансформатора с напряжением более 10 кВ при возникновении на нем перенапряжения.

При внезапном изменении состояния электрической или магнитной системы трансформатора на участках указанных систем возникают перенапряжения, обусловленные переходными процессами. Резонансные явления могут усиливать или ослаблять переходные процессы. Для сохранения электрической прочности изоляции обмо-

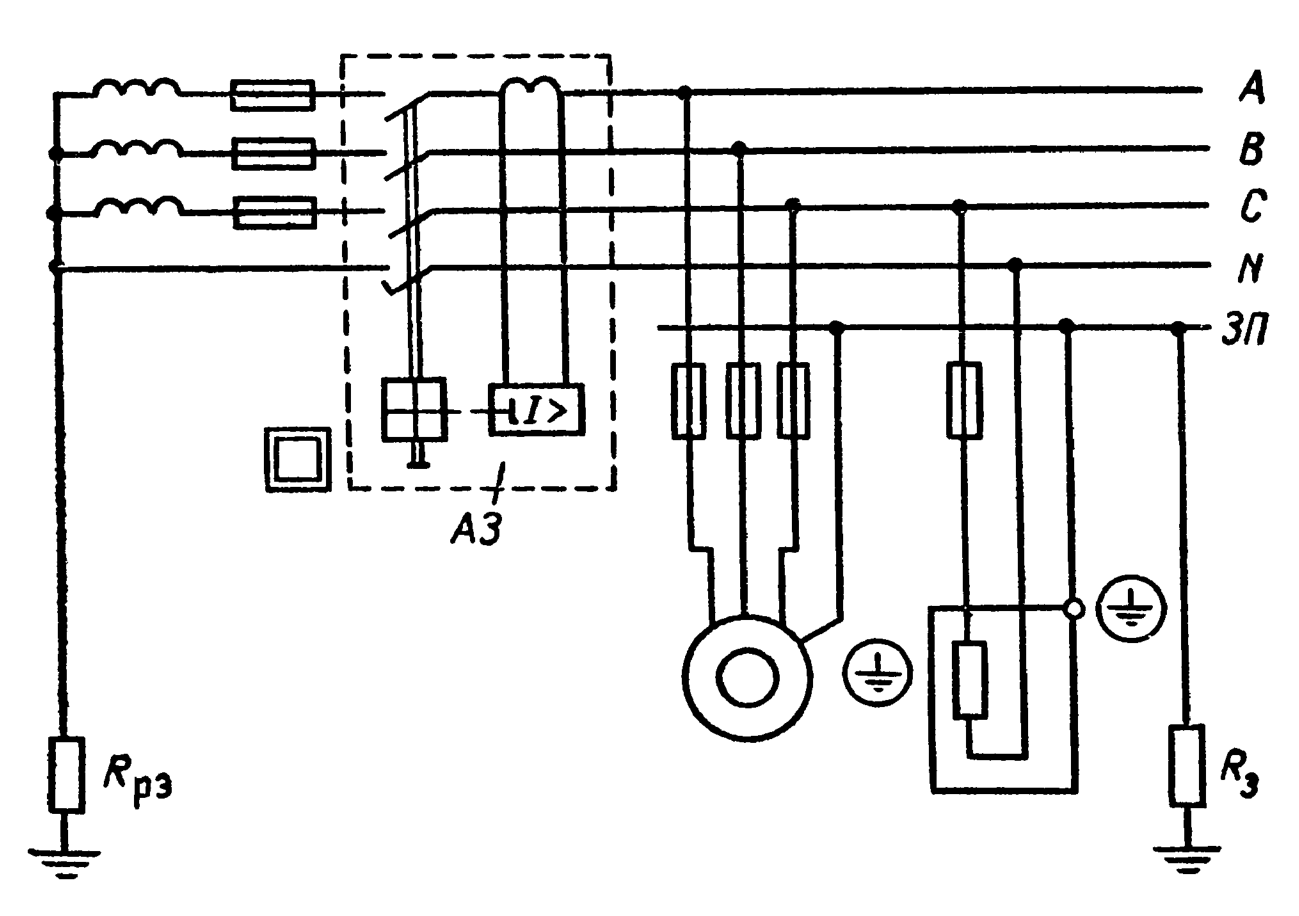


Рис. 184. Устройство защиты от тока утечки:

$R_{рз}$ — рабочее заземление; $R_з$ — сопротивление контура заземления; *АЗ* — автомат защиты; *ЗП* — защитный провод

ток трансформатора проходной изолятор шунтируется разрядником, пробивное напряжение которого соответствует максимально допустимому напряжению для данного класса изоляции обмотки высокого напряжения. Один из электродов разрядника заземлен. При увеличении напряжения разрядник пробивается, обеспечивая снижение напряжения на обмотке. Гашение дуги в разряднике происходит самостоятельно без каких-либо дополнительных средств.

Устройство пожарного отключения — совокупность технических средств, осуществляющих защитное отключение мощных силовых трансформаторов при возникновении пожара с целью его локализации.

В силовых трансформаторах с воздушным охлаждением секции обмоток разделены огнестойкими перегородками. В трансформаторах с масляным охлаждением в фундаменте расположена полость для слива масла при возгорании трансформатора. При принудительном

воздушном охлаждении система защиты прекращает подачу воздуха к активным частям трансформатора в случае пожара. При установке трансформаторов в помещениях повышенной пожароопасности используются установки пожаротушения.

Ф

Фазное напряжение (схема соединения — звезда).

Фазный ротор — вращающаяся часть асинхронной машины, содержащая разомкнутую обмотку, предназначенную для подключения к внешней цепи.

Асинхронные двигатели с фазным ротором используются в тех случаях, когда необходимо ограничить пусковой ток и получить большой пусковой момент. Обмотка фазного ротора соединяется с пусковым реостатом посредством контактных колец и щеток. При этом пусковой реостат может содержать в каждой фазе резисторы с одинаковым или различным значением сопротивления. При пуске двигателей большой мощности используются жидкостные пусковые реостаты. Запуск асинхронного двигателя производится путем последовательного закорачивания секций пускового реостата до полного закорачивания обмотки ротора (рис. 185).

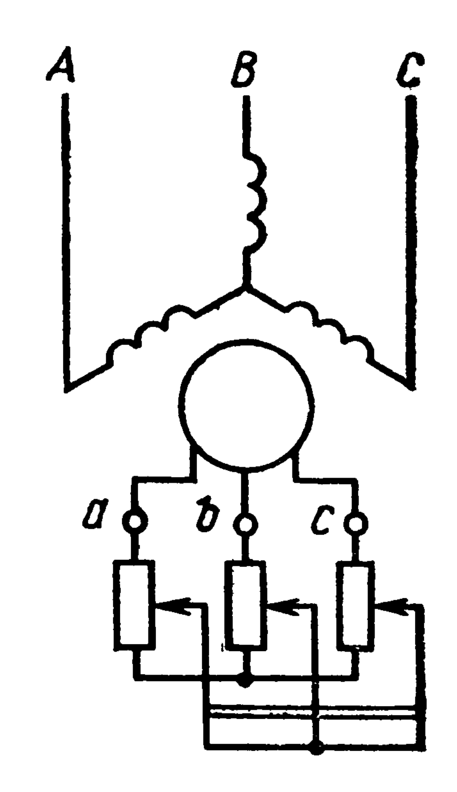


Рис. 185. Фазный ротор

Фазный ток (схема соединения — треугольник).

Фазовая погрешность — фазовое рассогласование напряжений или токов первичной и вторичной обмоток соответственно трансформатора напряжения или трансформатора тока.

На практике обмотки трансформаторов стремятся расположить относительно друг друга таким образом, чтобы фазовая погрешность была равна нулю. Обычно ее величина не превышает нескольких минут.

Фарада — емкость проводника, потенциал которого повышается на 1 В, если на этот проводник поместить заряд в 1 Кл. Условное обозначение — **Ф.**

Фарада используется для обозначения емкости электрических конденсаторов:

$$Ф = 1\,\frac{Кл}{В} = 1\,\frac{А \cdot с}{В}.$$

Техническая реализация конденсатора емкостью 1 Ф является сложной задачей. Так, например, у плоского воздушного конденсатора емкостью 1 Ф площадь пластин, расстояние между которыми равно 1 мм, должна составлять 112,8 км^2. Поэтому на практике для обозначения емкости конденсаторов используются более мелкие единицы измерения — пико- и микрофарады (1 пФ = $10^{-12}_{Ф}$, 1 μФ = $= 10^{-6}_{Ф}$).

Ферромагнитное вещество (ФВ) — вещество, обладающее способностью концентрировать и усиливать магнитное поле.

Обычно ФВ, к которым относятся такие материалы, как сталь, никель, кобальт, обладают высокой магнитной проницаемостью. Ввиду того что численное значение магнитной проницаемости зависит от характеристик внешнего магнитного поля, магнитные свойства ФВ принято характеризовать с помощью *кривой намагничивания*. По кривой намагничивания можно определить магнитную проницаемость конкретного ФВ (рис. 186).

Эффект усиления внешнего магнитного поля в ФВ обусловлен тем, что элементарные магниты (домены), из которых состоит ФВ, ориентируются относительно силовых линий внешнего поля. Это приводит в свою очередь к увеличению магнитной индукции результирующего магнитного поля.

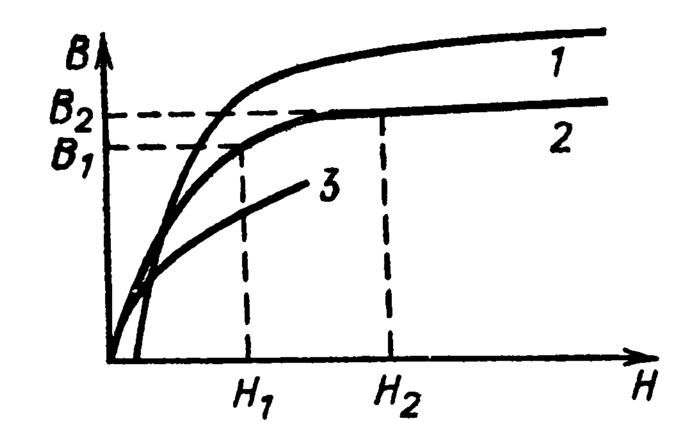


Рис. 186. Ферромагнитное вещество:

кривые намагничивания конструкционной (*1*), электротехнической (*2*) стали и чугуна (*3*); *B* — индукция и *H* — напряженность магнитного поля

При этом происходит насыщение ФВ, которое характеризуется слабой зависимостью магнитной индукции от напряженности магнитного поля, определяемой магнитной проницаемостью μ, равной магнитной проницаемости воздуха.

Фокус (дугообразование).

Форсировка развозбуждения — процесс ускоренного снижения тока в обмотке возбуждения электрической машины. Форсировка применяется для снижения значения тока короткого замыкания в обмотке якоря и для повышения быстродействия системы регулирования напряжения.

Фрикционная дисковая муфта — передаточное устройство электропривода с электромагнитным механизмом включения, состоящее из магнитопровода с обмоткой и якоря, расположенных на концах двух валов, между которыми образуется связь.

Напряжение на обмотку возбуждения подается через контактные кольца. С магнитопроводом жестко соединен фрикционный диск. Второй такой диск соединен с якорем, который при возбуждении муфты смещается в аксиальном направлении и прижимается к первому диску. Для расцепления муфты после снятия возбуждения служит возвратная пружина. При больших значениях передаваемого через муфту момента происходит сильный износ фрикционных дисков, вследствие чего возникает необходимость в их периодической замене.

X

Характеристика нагрузки — взаимосвязь частоты вращения ω и момента M нагрузки производственного механизма, которая представляет собой зависимость $\omega = f(M)$ и изображается, как правило.

в виде графика. Характеристика нагрузки является одним из основных критериев выбора двигателя электропривода.

Характеристика срабатывания — графическое отображение области допустимого изменения контролируемого параметра, вызывающего срабатывание устройства защиты.

Для плавких предохранителей и тепловых реле, защищающих электрические цепи от перегрузки по току, характеристика срабатывания носит название *время-токовой характеристики.* Эта характеристика позволяет определить время срабатывания устройства защиты указанного типа в зависимости от превышения действительным значением тока его номинального значения.

Для автоматов защиты с электромагнитными расцепителями характеристика срабатывания позволяет определить уставку срабатывания по току с учетом значения номинального тока и допустимого его превышения.

Характеристики электрических машин — характеристики, отражающие особенности электрических машин как преобразователей энергии.

Для генераторов, трансформаторов и электромашинных преобразователей к таким характеристикам относятся характеристика холостого хода, нагрузочная характеристика, внешняя характеристика и характеристика короткого замыкания. Для электродвигателей к ним относятся характеристики холостого хода и нагрузочная характеристика (механическая характеристика) [8].

Характеристики электрических проводников — электрические проводники характеризуются материалом (медь, алюминий, вольфрам), формой (круглые, прямоугольные, трубчатые), количеством жил (одно- и многожильные), функциональным назначением (силовые, контрольные) и степенью защиты от прикосновения (голые и изолированные).

Характер работы электрической машины отражает способ преобразования в ней энергии.

При вращении электрической машины с помощью какого-либо механического устройства, например турбины, машина работает в режиме генератора, т. е. происходит преобразование механической энергии в электрическую. При работе в режиме двигателя электрическая машина получает электроэнергию от питающей сети и преобразует ее в механическую энергию. Характерно, что большинство электрических машин могут без каких-либо конструктивных переделок работать в обоих режимах работы. Вышесказанное в полной мере относится и к трансформаторам, которые при разном числе витков первичной и вторичной обмоток могут использоваться как для повышения, так и для понижения напряжения.

Холостая катушка (несимметричная обмотка).

Холостой ход генератора — состояние возбужденной электрической вращающейся машины с разомкнутой внешней цепью обмотки якоря.

При холостом ходе напряжение на его зажимах соответствует максимальному, называемому *напряжением холостого хода*, ток возбуждения и частота вращения соответствуют номинальным значениям, а ток обмотки якоря равен нулю [8].

Холостой ход электрической машины — состояние электрической машины, в котором она не осуществляет преобразование энергии.

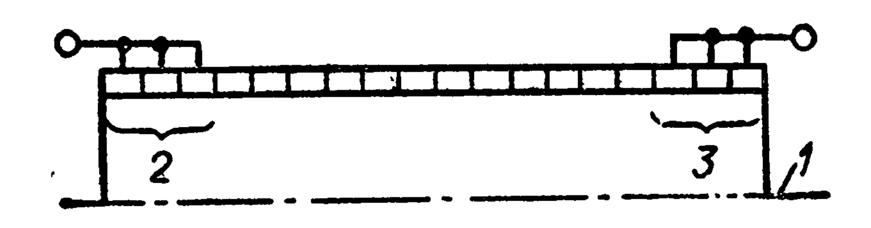
Различают холостой ход генератора, трансформатора и двигателя [8].

Холостой ход электродвигателя — состояние электродвигателя, в котором потребляемая им мощность расходуется только на преодоление момента сопротивления, обусловленного трением в подшипниках и потерями на охлаждение.

Холостой ход электродвигателя осуществляется путем подачи на его обмотку номинального напряжения питания при отсутствии нагрузки на валу. При этом частота вращения электродвигателя равна номинальному значению, или несколько выше его, а ток потребления имеет минимальное значение.

Ц

Цилиндрическая обмотка — обмотка трансформатора, витки которой из одно- или многожильного провода укладываются на каркасе в ряд друг за другом (рис. 187).



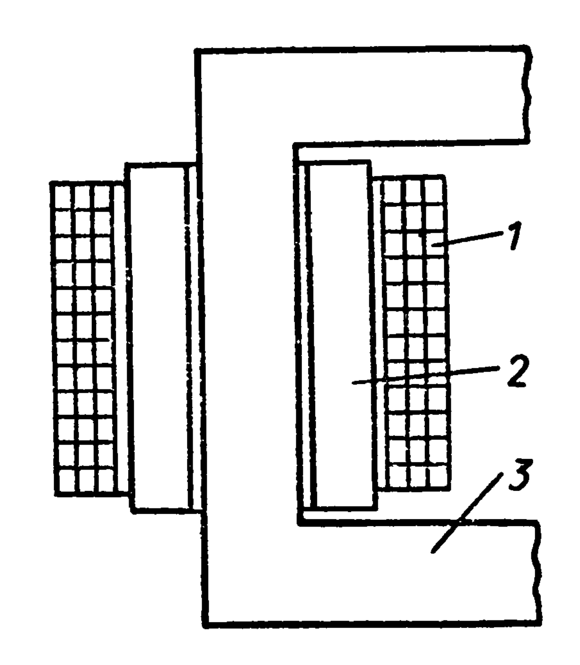


Рис. 187. Цилиндрическая обмотка:

1 — ось обмотки; *2* — первый и *3* — последний витки

Рис. 188. Цилиндрическая обмотка трансформатора:

1, 2 — обмотки высшего и низшего напряжения; *3* — магнитная система

Цилиндрическая обмотка трансформатора — конструктивное исполнение обмоток трансформатора, в котором первичная обмотка расположена под вторичной и имеет форму цилиндрической катушки (рис. 188).

В цилиндрической обмотке витки расположены послойно и в радиальном направлении, вследствие чего длина витка предыдущего слоя меньше длины витка последующего, внешнего слоя. Между первичной и вторичной обмотками располагается слой усиленной изоляции. Для повышения равномерности распределения потенциала по цилиндрической обмотке трансформатора целесообразно обмотку низшего напряжения располагать внизу, на стержне магнитной системы.

Ч

Часовая мощность — параметр, предназначенный для характеристики мощности двигательной установки транспортного средства.

Часовая мощность — это мощность, которую способна постоянно в течение часа развивать двигательная установка при условии,

что ее температура не превысит предельно допустимого значения.

Частота — физическая величина, определяющая количество колебаний в единицу времени переменной величины, изменяющейся по синусоидальному закону.

Условное обозначение — f; единица измерения — герц (Гц). Частота обратно пропорциональна периоду T переменной величины, т. е. $f=1/T$ [7].

Частота вращения ротора (скольжение).

Частота вращения электромагнитного поля называется также синхронной частотой вращения и определяется числом пар полюсов $2p$ обмотки электрической машины переменного тока и частотой f напряжения трехфазной питающей сети переменного тока, т. е. $n=f/2p$.

Частота пусков — количество пусковых циклов на заданном интервале времени.

Ввиду того что пусковой процесс двигателя сопровождается увеличением тока в его обмотке, происходит интенсивный нагрев активных частей двигателя. В связи с этим к двигателям, работающим в режиме частых пусков, предъявляются дополнительные требования по отводу тепла. Кроме того, частота пусков оказывает непосредственное влияние на выбор мощности двигателя электропривода. При частых пусках приходится завышать мощность двигателя по сравнению с ее значением в стационарном (длительном) режиме работы. Для защиты двигателя от перегрева используются электромагнитные муфты, разрывающие связь вала механизма с валом двигателя при недопустимом увеличении температуры последнего. Частота пусков оказывает влияние на выбор коммутационной аппаратуры и пусковых резисторов.

Частота резонанса — частота собственных колебаний колебательного контура.

Условное обозначение — f_0, единица измерения — герц (Гц). Частота резонанса может быть определена из выражения

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где L — индуктивность, Гн; C — емкость, Ф.

Частотное регулирование — изменение частоты вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором путем изменения частоты напряжения питания.

В качестве преобразователей частоты используются электромашинные и полупроводниковые преобразователи. Частота вращения двигателя при частотном регулировании может меняться вверх и вниз от синхронной частоты вращения. Принцип действия частотнорегулируемого асинхронного двигателя не отличается от принципа работы обычного, нерегулируемого двигателя. При частотном регулировании качественно сохраняется вид механической характеристики двигателя, а изменение касается только синхронной частоты вращения, которая при неизменном числе пар полюсов будет пропорциональна частоте напряжения питания.

Червячная передача — разновидность зубчатой передачи, в которой зубчатое колесо находится в зацеплении с валом, снабженным ленточной резьбой.

Червячная передача обеспечивает передачу бóльших моментов,

чем другие виды передач. Кроме того, она препятствует обратному ходу производственного механизма при отключении электродвигательного устройства электропривода (отсутствует люфт).

Ш

Шаг обмотки — расстояние между двумя сторонами обмотки, определяемое количеством находящихся между ними пазов.

Если, например, одна сторона обмотки (или ее секции) лежит в пазу *1*, а другая — в пазу *8*, то шаг обмотки равен *7*. При выполнении обмотки из нескольких концентрических секций последние выполняются с различным шагом (рис. 189).

Шаг обмотки статора — расстояние между двумя сторонами секции обмотки (рис. 190).

Шаг указывается в сантиметрах или миллиметрах и зависит от числа полюсов и от типа обмотки (обмотка якоря машины постоян-

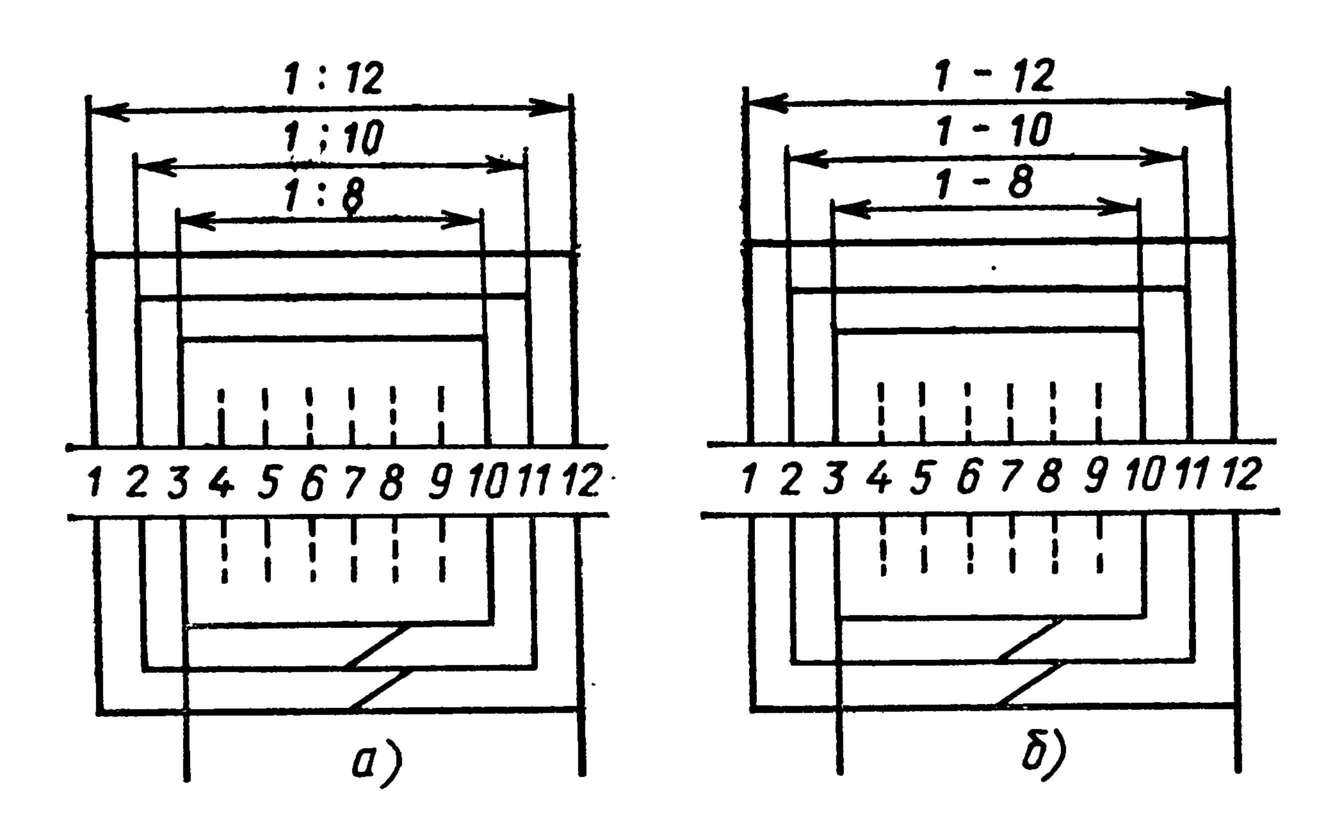


Рис. 189. Шаг обмотки

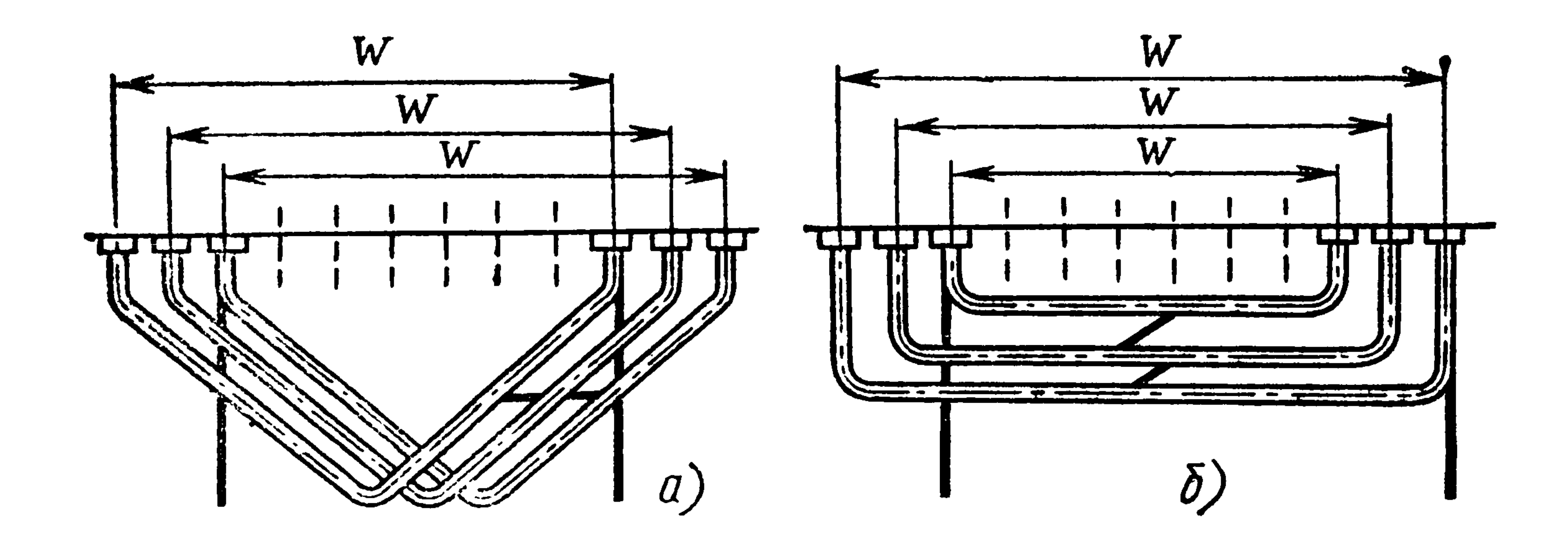


Рис. 190. Шаг обмотки статора:

а — равномерный; *б* — неравномерный

ного тока или трехфазная обмотка статора машины переменного тока).

Шаговый двигатель — синхронный двигатель, в котором электрическая энергия, подаваемая в виде импульсов, преобразуется в дискретные угловые перемещения ротора.

На обмотку статора подаются импульсы напряжения, которые последовательно подаются в равномерно распределенные по окружности статора фазные обмотки. При этом ротор следует в направлении перемещения импульсов напряжения. Полное угловое перемещение α ротора зависит от длины одного шага $\Delta\alpha$ и количества сделанных шагов s, т. е. $\alpha = \Delta\alpha s$. В соответствии с частотой f следования импульсов напряжения ротор совершает вращение с угловой частотой $\omega_p = \Delta\alpha f$. Шаговый двигатель наиболее часто используется в позиционных электроприводах, к которым не предъявляются жесткие требования к точности регулирования. В конструктивном отношении двигатели очень многообразны. В шаговых двигателях промышленного исполнения используются многофазные обмотки статора. Последние могут быть рассчитаны на питание одно- и двухполярными импульсами напряжения. Ротор может быть выполнен с постоянными магнитами или по типу ротора реактивного двигателя. Шаговые двигатели очень малой мощности используются для специальных целей.

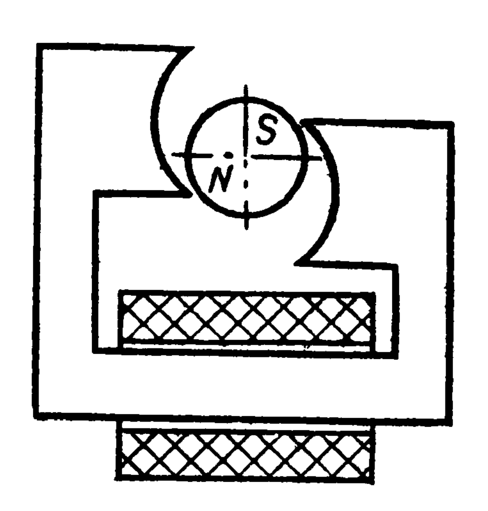


Рис. 191. Шаговый микродвигатель

Шаговый микродвигатель — шаговый двигатель, предназначенный в основном для использования в кварцевых аналоговых приборах времени, частота следования импульсов напряжения в которых задается кварцевым генератором.

При подаче импульса напряжения на обмотку управления двигателя ротор поворачивается на некоторый угол, после чего фиксируется в новом положении до прихода следующего импульса напряжения. Ввиду того что в паузе между импульсами ротор должен находиться в фиксированном положении, его активная зона формируется таким образом, что возникает реактивный момент, препятствующий отклонению ротора от этого положения. Наиболее часто задача фиксации ротора решается созданием геометрической асимметрии активной зоны. В представленной на рис. 191 конструкции угол поворота ротора составляет 180°, а асимметрия создается смещением полюсов статора. При этом однонаправленное вращение ротора обеспечивается подачей на обмотку управления разнополярных импульсов напряжения.

Шихтованная магнитная система — магнитная система трансформатора, в которой стержни и ярма с плоской шихтовкой собираются в переплет как цельная конструкция.

Из-за периодического перемагничивания магнитной системы трансформатора с частотой напряжения питания происходит колебание отдельных пластин, что приводит к гудению трансформатора. Для снижения создаваемого им звука необходимо обеспечивать усилие, прижимающее пластины друг к другу, значением не менее 50—80 Н/см². В зависимости от размера магнитной системы в качестве крепежных элементов, стягивающих пакет магнитной системы, ис-

пользуются шпильки, хомуты, ленты и т. п. Превышение указанного усилия недопустимо, поскольку оно может привести к закорачиванию пластин. В маломощных трансформаторах роль крепежного элемента выполняет каркас обмотки [4].

Шпилька магнитной системы трансформатора (шихтованная магнитиая система трансформатора).

Щ

Щетка (Щ) — токопроводящий элемент, непосредственно соприкасающийся с коллектором или контактным кольцом, предназначенный обеспечивать электрическую связь подвижной и неподвижной частей электрической машины.

В зависимости от мощности машины и условий ее эксплуатации к Щ предъявляются различные требования, что находит отражение в технологии их изготовления. Различают Щ жесткие и мягкие. Жесткие Щ изготовляются из углерода со связующими компонентами, которые после формовки прессованием подвергаются термической обработке. Эти Щ обладают невысокой электрической, механической и термической устойчивостью и большим переходным сопротивлением. Однако они позволяют улучшить процесс коммутации. Одним из способов повышения электрической и механической прочности жестких Щ является отжиг. К мягким Щ относятся графитовые Щ, выдерживающие большую токовую нагрузку. Наименьшим переходным сопротивлением обладают Щ с добавками медного и бронзового порошка. Они используются в электрических машинах с большим током и низким напряжением.

Обычно Щ крепится в щеткодержателе с помощью нажимной пружины, которая также регулирует положение Щ по мере ее срабатывания. При замене сработавшейся Щ на новую необходимо притирать рабочую поверхность Щ к поверхности коллектора или контактного кольца с целью повышения площади контактируемой поверхности. Существующие конструкции щеткодержателей позволяют регулировать давление Щ на контактную поверхность, значение которого для коллекторов в 1,5 раза больше, чем для контактных колец. Щеткодержатели обеспечивают также отвод Щ от поверхности коллектора или контактного кольца [9].

Щеточная траверса (крепление щетки).

Щеточный зажим (крепление щетки).

Щеткодержатель — элемент конструкции электрической машины, обеспечивающий контакт щетки с коллектором или контактным кольцом и состоящий из обоймы, щеткодержателя, системы нажатия, элемента крепления [9].

Э

ЭДС вращения — ЭДС, возникающая вследствие перемещения проводника в магнитном поле в соответствии с законом электромагнитной индукции (электромагнитная индукция).

В соответствии с законом электромагнитной индукции во всяком проводнике, перемещающемся с некоторой скоростью в стационар-

ном магнитном поле, наводится ЭДС. Значение ЭДС пропорционально индукции B магнитного поля, активной длине l проводника и скорости V его перемещения в магнитном поле. Под активной длиной проводника понимается та его часть, которая расположена в магнитном поле. В том случае, когда направление движения проводника перпендикулярно направлению силовых линий магнитного поля, ЭДС можно определить из выражения

$$E = BlV.$$

ЭДС ротора — напряжение, возникающее между разноименными полюсными щетками вращающегося ротора коллекторной машины переменного тока.

Электрическая вращающаяся машина — электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую, механической энергии в электрическую или электрической энергии одного вида в электрическую энергию другого вида.

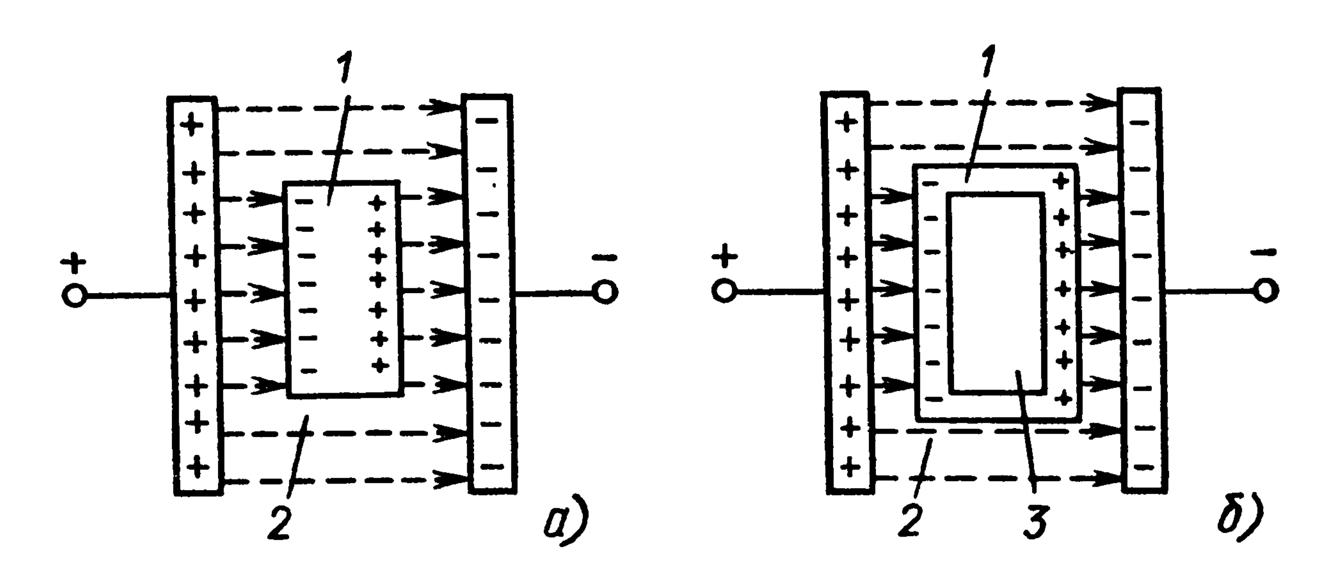


Рис. 192. Электрическая индукция:

1 — проводник; 2 — электростатическое поле; 3 — область, не занятая полем

В зависимости от функционального назначения электрические машины разделяют на три группы — генераторы, двигатели, преобразователи [2].

Электрическая индукция — векторная величина, равная геометрической сумме напряженности электрического поля, умноженной на электрическую постоянную, и поляризованности.

При помещении проводника в электрическое поле (рис. 192, *а*) происходит смещение свободных электронов к его поверхности, в результате чего с одной стороны проводника скапливаются положительные, а с другой — отрицательные заряды, причем область положительных зарядов смещается в сторону отрицательно заряженной пластины, а область отрицательных зарядов — в сторону положительно заряженной пластины, создающей вместе с указанной выше пластиной электрическое поле. Если проводник выполнен в виде полого цилиндра, то внутри него электрическое поле отсутствует (рис. 192, *б*). На этом принципе основано защитное экранирование живых организмов и измерительных приборов от воздействия мощных электрических полей [1].

Электрическая машина — преобразователь энергии, в котором энергия передается из одной электрической цепи в другую посредством электромагнитного поля.

Электрические машины разделяют на вращающиеся и без подвижных частей — трансформаторы.

Электрическая машина смешанного возбуждения (генератор постоянного тока смешанного возбуждения).

Электрическая микромашина — вращающаяся электрическая машина мощностью от 1 до 500 Вт, частота вращения которой находится в диапазоне от 1 оборота в неделю до 1 млн. оборотов в минуту.

Микромашины широко используются в системах автоматического управления и регулирования, в системах автоматизированной обработки информации, в измерительных и навигационных приборах, в электрических часах, в системах связи и т. д. [3].

Электрическая мощность — физическая величина, равная отношению работы к промежутку времени, в течение которого эта работа совершается. Электрическая мощность может быть определена через электрическую работу.

Типовая мощность некоторых электрических приборов и агрегатов характеризуется следующими значениями:

Лампы накаливания	25÷200 Вт
Электробытовые приборы . . .	40÷2000 Вт
Тяговые электродвигатели . . .	$200 \cdot 10^3$ Вт
Генераторы на электростанциях	$(100 \div 500) \cdot 10^6$ Вт

Условное обозначение — P, единица измерения — ватт (Вт). Электрическая мощность равна произведению напряжения и тока ($P=UI$) или отношению электрической работы к времени ($P=W/t$) [7].

Электрическая проводимость проводника — физическая величина, характеризующая проводящие свойства проводника. Проводимость обозначается σ, измеряется в сименсах и численно равна силе тока в проводнике, когда напряжение на его концах равно единице, т. е.

$$\sigma = I/U = 1/R,$$

где R — сопротивление проводника [7].

Электрическая работа — физическая величина, характеризующая процесс преобразования электрической энергии в другие виды энергии.

Обозначение — W, единица измерения — джоуль (Дж).

Если принять, что в некоторой электрической цепи ток I и напряжение U не зависят от времени, то электрическая работа может быть определена из выражения

$$W = UIt,$$

где t — время. Работа в 1 Дж=1 Вт·с=1 В·А·с. На практике наибольшее распространение получили единицы измерения Вт·ч и кВт·ч: 1 Вт·ч=$3{,}6 \cdot 10^2$ Дж; 1 кВт·ч=$3{,}6 \cdot 10^6$ Дж.

Электрическая схема соединений — электрическая схема, отображающая используемые в том или ином устройстве электрические приборы и аппараты с входными и выходными зажимами, и подключенные к ним соединительные провода.

Электрическая схема соединений является основным документом, по которому проводятся монтажные работы на электрических

установках. На ней должны быть представлены обозначения зажимов приборов и аппаратов, тип, сечение и количество жил соединительных проводов и кабелей. В практике проектирования электрическую схему соединений называют также схемой внешних соединений.

Электрическая энергия (ЭЭ) — энергия электрического поля, преобразуемая в потенциальную или кинетическую энергию.

В потенциальной форме ЭЭ накапливается в виде неподвижных электрических зарядов, например в ненагруженном источнике напряжения или в заряженном конденсаторе. При движении зарядов происходит преобразование ЭЭ. В электрическом генераторе, подключенном к нагрузке, происходит непрерывный расход и пополнение запасов ЭЭ, в электродвигателях ЭЭ преобразуется в механическую энергию. Основными преимуществами ЭЭ перед другими видами энергии являются легкость транспортировки (передачи на значительные расстояния) и простота регулирования [1].

Электрические силовые линии — линии, представляющие картину распределения электрического и электростатического полей.

Плотность силовых линий характеризует значение воздействия, оказываемого на электрическую заряженную частицу, помещенную в электрическое и электростатическое поля. Указанные частицы под действием силового воздействия перемещаются вдоль силовой линии в положение, соответствующее минимальной потенциальной энергии частицы. Между одноименно заряженными частицами возникает отталкивающая сила. В электростатическом поле начало силовой линии расположено на положительно заряженном теле, конец — на отрицательно заряженном теле. Силовые линии электрического поля замкнуты на себя.

Электрический вал (рабочий вал) — взаимосвязанный электропривод, обеспечивающий синхронное вращение двух и более электродвигателей, валы которых не имеют механической связи.

Электрический вал используется в тех случаях, когда обеспечение равенства частот вращения двигателей при помощи механической связи затруднено из-за значительного пространственного удаления электроприводов друг от друга (например, в электроприводах створок шлюзов, механизма передвижения портальных подъемных кранов, бумагоделательных машин и т. п.). Для этой же цели используются рабочий уравнительный и дистанционный валы [10].

Электрический заряд (ЭЗ) — величина, равная произведению силы тока на время, в течение которого шел ток:

$$q = It,$$

где q — ЭЗ, переносимый через поперечное сечение проводника за время t при силе тока I. Единица измерения ЭЗ — кулон (Кл).

Между ЭЗ противоположного знака возникает сила притягивания, между ЭЗ одинакового знака — сила отталкивания. Элементарный, единичный ЭЗ равен $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Кл. Количественно некоторый ЭЗ определяется в виде суммы элементарных ЭЗ и может быть определен из выражения

$$Q = n(\pm e), \ n = 1, 2, \dots, k.$$

К основным свойствам ЭЗ относятся наличие силы между ЭЗ и их способность к движению. Носителями ЭЗ являются электроны и ионы. Электрически заряженные тела стремятся при своем контакте уравнять свои ЭЗ [7].

Электрический контакт — токоведущий элемент коммутацион-

ных аппаратов, предназначенный для замыкания и размыкания электрической цепи.

Контакты конструируются с учетом максимально возможного значения тока в коммутируемой цепи и реальных условий эксплуатации, т. е. они должны обеспечивать надежный электрический контакт при длительном воздействии номинального тока и кратковременном воздействии тока короткого замыкания. В последнем случае контакты должны обладать достаточной механической и термической прочностью, чтобы выдерживать электродинамические усилия и перегрев, возникающие от токов короткого замыкания.

Решение указанной задачи осуществляется путем выбора траектории движения контактов и материалов, из которых они изготовляются. Различают неподвижные и подвижные электрические контакты. Подвижные контакты используются в различных реле, контакторах, разъемах, а также в контактных кольцах и коллекторах электрических машин [5].

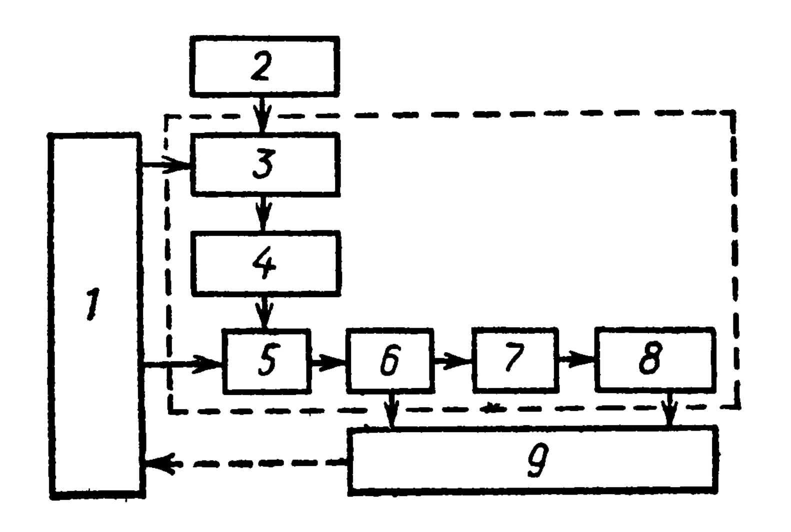


Рис. 193. Электрический микропривод:

1 — блок регулирования; *2* — источник питания; *3* — силовой выключатель; *4* — блок защиты; *5* — регулятор; *6* — электродвигательное устройство; *7* — передаточное устройство; *8* — производственный механизм; *9* — блок измерения и контроля

Электрический микропривод — электропривод малой мощности с электронной системой регулирования.

В состав микропривода входят, как правило, следующие блоки (рис. 193):

производственный механизм;

передаточный механизм, согласующий значение момента и частоту вращения электродвигателя с указанными параметрами производственного механизма;

электродвигатель;

блок регулирования с регулятором, устанавливающим требуемый закон изменения частоты вращения и момента электродвигателя;

блок защиты от аварийных режимов работы;

силовой выключатель, посредством которого микропривод подключается к источнику питания.

В общем случае для электрического микропривода характерно наличие всех указанных узлов и блоков. В простейшем случае он состоит из силового выключателя, электродвигателя и производственного механизма.

Электрический проводник — вещество, основным электрическим свойством которого является электропроводность.

В металлах и их сплавах протекание электрического тока является следствием направленного движения носителей заряда — свободных электронов. Последние не имеют жесткой связи с кристаллической решеткой металла. Различная проводимость различных ме-

таллов и сплавов обусловлена разным количеством в них свободных электронов на единицу объема, а также их подвижностью.

В меди удельное содержание свободных электронов составляет $3{,}4 \cdot 10^{22}$ на 1 см^3, в алюминии — $2{,}2 \cdot 10^{22}$ на 1 см^3. Указанные вещества относятся к электрическим проводникам первого класса, ко второму классу относятся электролит и плазма, в них носителями заряда являются ионы и катионы [1].

Электрический ток — направленное движение электрических зарядов.

Носителями электрических зарядов в проводниках являются электроны и ионы, а в полупроводниках — «дырки».

Электрический ток обладает магнитными, тепловыми, химическими и световыми свойствами. При его протекании через проводник вокруг последнего создается магнитное поле, а в результате столкновения носителей зарядов с атомами и молекулами проводника происходит его нагрев. Протекание тока в растворах сопровождается химическими реакциями, в результате чего происходит разложение исходного раствора на другие соединения. При протекании тока в проводниках с высокой температурой плавления происходит их нагрев и свечение. Этот эффект используется в лампах накаливания. В газоразрядных лампах ток способствует ионизации и свечению газа [1]. Интенсивность электрического тока оценивается с помощью силы и плотности тока.

Электрическое поле — одна из двух сторон электромагнитного поля, характеризующаяся воздействием на электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду частицы и ее скорости [1].

Электрическое реле — выключатель с электромагнитным или электротепловым приводом.

Обычно реле состоит из ярма с обмоткой, якоря и группы подвижных и неподвижных контактов. В зависимости от конструкции и назначения в нем используются замыкающие, размыкающие или те и другие контакты, а также переключающие контакты. У реле времени в состав привода входит элемент задержки, выдержка времени которого может изменяться от нескольких миллисекунд до нескольких часов.

Тепловые (биметаллические) реле вместо электромагнитного привода содержат биметаллическую пластину с нагревательным элементом, например обмоткой, охватывающей пластину. Известны также конструкции, в которых ток пропускается непосредственно через биметаллическую пластину с целью ее нагрева. При нагреве пластина деформируется и размыкает соответствующие контакты. Тепловые реле обладают значительной инерционностью, обусловленной тепловой инерцией материала, из которого изготовлена биметаллическая пластина.

С точки зрения чувствительности реле к полярности протекающего через их обмотки тока различают обычные и поляризованные реле. Первые из них могут работать в электрических цепях постоянного и переменного тока, вторые — только в цепях постоянного тока. Поляризованные реле бывают моно- и бистабильные. Бистабильные поляризованные реле после переключения и снятия напряжения с обмотки сохраняют любое из двух состояний. Моностабильные поляризованные реле в указанном выше случае возвращаются в исходное, стабильное состояние.

Кроме того, различают первичные и вторичные реле: первичные

включаются непосредственно в контролируемую цепь, вторичные — через промежуточные, согласующие элементы (трансформаторы, преобразователи и т. п.). Электрические реле широко используются во всех отраслях промышленности и в быту [11].

Электрическое сопротивление — скалярная величина, равная отношению постоянного напряжения на участке пассивной электрической цепи к постоянному току в нем при отсутствии на участке ЭДС.

Сопротивление характеризует способность вещества препятствовать прохождению через него электрического тока. Условное обозначение — R, r, единица измерения — Ом:

$$R = U/I,$$

где U — напряжение, В; I — ток, А.

Электрическое сопротивление, например, зависит от удельного сопротивления материала, из которого изготовлен проводник, сечения S и длины l проводника:

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

В электрических и электронных устройствах широко распространены элементы, обладающие электрическим сопротивлением, — резисторы. Резисторы выполняются регулируемыми и нерегулируемыми. Последние используются для регулирования тока возбуждения электрических машин (регулировочные реостаты), ограничения пускового тока (пусковые реостаты), торможения (тормозные реостаты) [1].

Электродвигатель — электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую.

В зависимости от рода напряжения питания различают электродвигатели постоянного и переменного тока, принцип их действия основан на силовом взаимодействии магнитного поля и проводника с током [2].

Электромагнитная дисковая муфта — электромеханическое передаточное устройство электропривода, приводимое в действие посредством электрических сигналов и содержащее электромагнит с обмоткой, якорь которого через тарельчатую пружину соединен с диском, расположенным параллельно другому диску, установленному на валу электродвигателя. При подаче напряжения на обмотку первый диск, установленный на валу механизма, прижимается ко второму диску и под действием сил трения вращающий момент с вала двигателя передается на вал производственного механизма. Диски могут работать как в воздушной, так и в масляной среде; при достаточно большом диаметре они могут передавать значительный вращающий момент.

Электромагнитные дисковые муфты отличаются небольшими габаритами и не требуют большого ухода. Ток возбуждения подается на обмотку электромагнита через контактные кольца, причем в качестве одного провода используется корпус.

Электромагнитная индукция — явление возбуждения ЭДС в контуре при изменении магнитного потока, сцепленного с ним. Явление положено в основу преобразования энергии в электрических машинах и отражено в законе электромагнитной индукции [1].

Электромагнитная муфта — элемент передаточного устройства,

в котором вращающий момент с входного вала на выходной передается посредством электромагнитного поля.

Принцип работы муфт существенно зависит от их конструктивного исполнения. В общем случае различают контактные и бесконтактные муфты. В первых из них постоянный ток через контактные кольца подается на вращающуюся обмотку возбуждения, во втором случае обмотка возбуждения расположена на статоре. Широко используются порошковые и гистерезисные, а также фрикционные муфты, положение дисков в которых устанавливается с помощью электромагнита. Наибольшее распространение получили муфты скольжения, принцип работы которых аналогичен принципу работы асинхронного двигателя. Электромагнитные муфты часто используются для создания тормозного момента.

Электромагнитная муфта скольжения — электромеханический преобразователь, осуществляющий силовую связь между ведомым и ведущим валами передаточного устройства посредством электромагнитного поля и состоящий из двух вращающихся частей, разделенных воздушным зазором, из которых одна присоединяется к приводному двигателю, вторая — к производственному механизму. Часть муфты с обмоткой возбуждения называется индуктором, другая часть — якорем. В муфте с контактными кольцами обмотка возбуждения расположена на роторе и питается постоянным током, а якорь выполнен в виде короткозамкнутой обмотки асинхронной машины с короткозамкнутым ротором. Для передачи вращающего момента от одной части муфты к другой необходимо поддерживать разные значения их частот вращения, т. е. ведомая часть вращается с некоторым скольжением относительно ведущей части. Электромагнитная муфта скольжения обеспечивает плавный пуск и разгон производственных механизмов и используется также для регулирования их частоты вращения в небольшом диапазоне при неизменной частоте вращения приводного двигателя или для стабилизации частоты вращения производственного механизма при незначительном изменении частоты вращения первичного двигателя. Вид ее механической характеристики в значительной мере определяется конструкцией якоря.

Электромагнитная порошковая муфта — электромагнитная муфта, вращающий момент в которой регулируется путем изменения тока возбуждения и передается посредством сил трения, состоит из ведомой и ведущей частей, установленных на валах соответственно производственного механизма и электродвигателя. Обе части выполнены в виде полых цилиндров, внутри которых находится порошок из ферромагнитного материала, иногда с добавкой масла. Обмотка возбуждения расположена на ведомой, внутренней части муфты, и напряжение питания подается на нее через контактные кольца. Используются также конструкции с неподвижной обмоткой возбуждения. Под действием магнитного поля обмотки происходит уплотнение ферромагнитного порошка, вследствие чего увеличивается коэффициент трения между ведущей и ведомой частями. Благодаря рассмотренному принципу действия электромагнитной порошковой муфты обеспечивается мягкая связь между электродвигателем и производственным механизмом.

Электромагнитное возбуждение — способ возбуждения электрической машины, магнитное поле возбуждения которой создается обмотками возбуждения, питаемыми электрическим током. Различают независимое возбуждение и самовозбуждение [9].

Электромагнитное поле (ЭМП) — вид материи, определяемый во всех точках двумя векторными величинами, которые характеризуют две его стороны, называемые соответственно электрическим полем и магнитным полем, оказывающими силовое воздействие на заряженные частицы, зависящее от их скорости и величины их заряда.

Обычно ЭМП образуется вокруг проводника, по которому протекает электрический ток (рис. 194, *а*). Если проводник свернуть в кольцо, то он образует соленоидальное ЭМП. При последовательном соединении нескольких витков суммарное ЭМП усиливается. Для этой цели используются катушки, по которым пропускается электрический ток (рис. 194, *б*). Направление силовых линий ЭМП зависит от направления тока в проводнике и определяется по правилу правой руки [1].

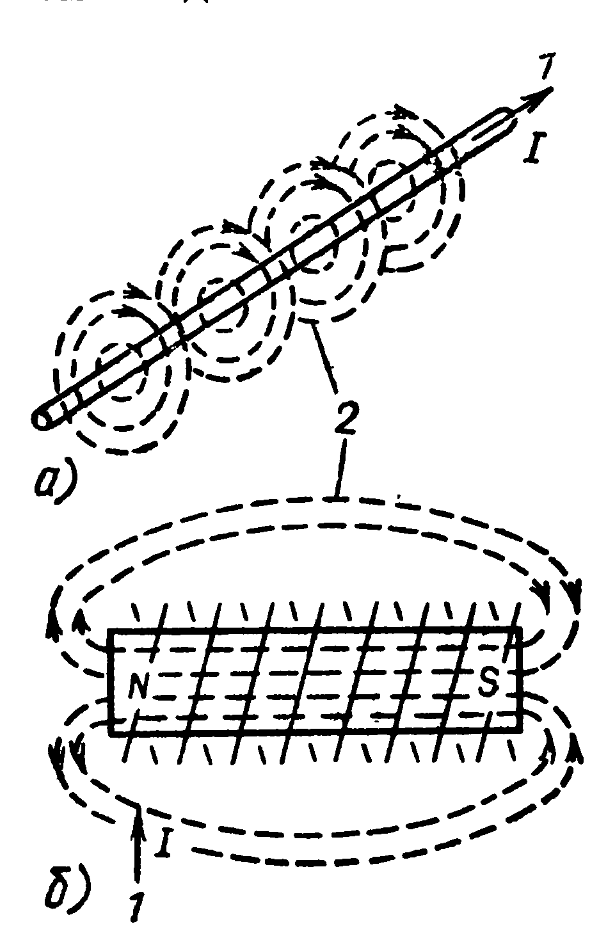


Рис. 194. Электромагнитное поле:

а — проводника с током; *б* — соленоида; *1* — направление тока; *2* — силовые линии поля

Электромагнитный дисковый тормоз — основной элемент тормозного устройства электропривода.

Принцип действия тормоза аналогичен принципу действия фрикционной передачи, диски которой приводятся в соприкосновение с помощью электромагнита. Возбуждение тормоза осуществляется бесконтактным способом. Данные тормоза используются для удержания груза в электроприводах грузоподъемных механизмов и для остановки электропривода.

Электромагнитный порошковый тормоз — составная часть электромагнитного тормоза, используемого для снижения частоты вращения электродвигателя.

Действие тормоза аналогично действию электромагнитной порошковой муфты. При подключении его обмотки к источнику питания частицы ферромагнитного порошка распределяются внутри тормозного барабана таким образом, что увеличивается момент трения между подвижной и неподвижной частями тормоза.

Электромагнит тормоза (ЭТ) — электрическая часть тормозного устройства, используемого для торможения электродвигателей.

Механическая часть тормозного устройства имеет множество конструктивных вариантов, а используемый в указанном устройстве ЭТ может получать питание от сети постоянного и переменного тока. Для торможения мощных двигателей используется гидравлический усилитель, поршень которого перемещается с помощью ЭТ. Обмотка ЭТ часто подключается к выводам обмотки электродвигателя. При питании от сети переменного тока магнитная система ЭТ выполняется шихтованной. В момент включения ЭТ ток в обмотке имеет большое значение, а с уменьшением воздушного зазора между ярмом и якорем в процессе движения последнего ток снижается. При заклинивании якоря ЭТ наступает перегрев и повреждение обмотки.

Электромагнит тяговый — исполнительный орган силового выключателя низкого напряжения, предназначенный для привода механизма выключателя, который содержит ярмо с обмоткой и якорь, перемешающийся относительно ярма. Питание обмотки осуществляется как переменным, так и постоянным током. При возбуждении обмотки якорь притягивается к ярму и при своем движении воздействует на контактную систему выключателя, коммутирующую соответствующие электрические цепи. Напряжение на обмотку подается в течение ограниченного времени, после чего якорь удерживается в притянутом положении с помощью механического фиксатора.

Электромашинный преобразователь — вращающаяся электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в электрическую энергию другого вида (другого рода тока, другого напряжения, другой частоты, другого числа фаз и т. п.).

Наиболее распространенными преобразователями являются мотор-генератор, одноякорный преобразователь частоты и схема генератор-двигатель (схема Леонардо) [2].

Электромашинный преобразователь частоты (ЭМПЧ) — система из нескольких вращающихся электрических машин переменного тока, предназначенная для преобразования переменного тока одной частоты в переменный ток другой частоты.

Существуют ЭМПЧ двух типов — синхронные и асинхронные. Синхронный ЭМПЧ содержит короткозамкнутый асинхронный двигатель, вал которого соединен с валом трехфазного синхронного генератора. Если, например, обмотка статора асинхронного двигателя имеет число полюсов $p=1$, то его номинальная частота вращения при $s=0{,}033$ составит примерно 2900 об/мин ($f=50$ Гц). При выполнении обмотки якоря синхронного генератора с $p=2$ частота напряжения на его зажимах составит 96 Гц.

Наибольшее распространение получили асинхронные ЭМПЧ, содержащие два механически соединенных асинхронных двигателя с короткозамкнутым и фазным ротором. Асинхронный двигатель с фазным ротором работает в режиме генератора. При неподвижном роторе асинхронного двигателя с фазным ротором частота напряжения в обмотке ротора равна частоте напряжения питания. Если начать вращать ротор асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в сторону, противоположную направлению вращения электромагнитного поля, то по мере увеличения частоты вращения ротора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором будет увеличиваться частота напряжения обмотки ротора асинхронного двигателя с фазным ротором. При равном для обоих двигателей числе полюсов обмоток статора частота напряжения на выходе асинхронного ЭМПЧ будет составлять 100 Гц, т. е. в 2 раза превысит частоту напряжения питания. В этом режиме работы 50 % выходной мощности асинхронного ЭМПЧ отбирается от питающей сети, а 50 % — с вала асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Следует отметить, что при коэффициенте трансформации обмоток статора и ротора асинхронного двигателя с фазным ротором, равном единице, напряжение обмотки ротора увеличится пропорционально увеличению частоты напряжений в ней, т. е. в 2 раза. Обычно ЭМПЧ используются в тех случаях, когда частота вращения электропривода переменного тока должна быть больше 3000 об/мин (в электроприводах центрифуг, деревообрабатывающих станков и т. п.) [12].

Электромашинный усилитель (ЭМУ) — электрическая машина, предназначенная для управления относительно большими мощно-

стями с помощью относительно малой мощности, подаваемой на ее обмотку возбуждения или управления.

К наиболее распространенным ЭМУ относится ЭМУ с поперечным полем, содержащий два комплекта щеток, один из которых замкнут накоротко. Для расширения функциональных возможностей ЭМУ на его статоре размещается несколько обмоток возбуждения (управления), каждая из которых подключена к индивидуальному источнику управляющего сигнала. К ЭМУ можно также отнести электропривод, выполненный по схеме Леонардо. В отдельных случаях находят применение и иные типы ЭМУ. В последние годы ЭМУ потеряли свое значение и используются сравнительно редко [2].

Электромашинный усилитель (ЭМУ) поперечного поля — двухступенчатый электромашинный усилитель, у которого поле возбуждения второй ступени расположено на поперечной оси поля возбуждения первой ступени.

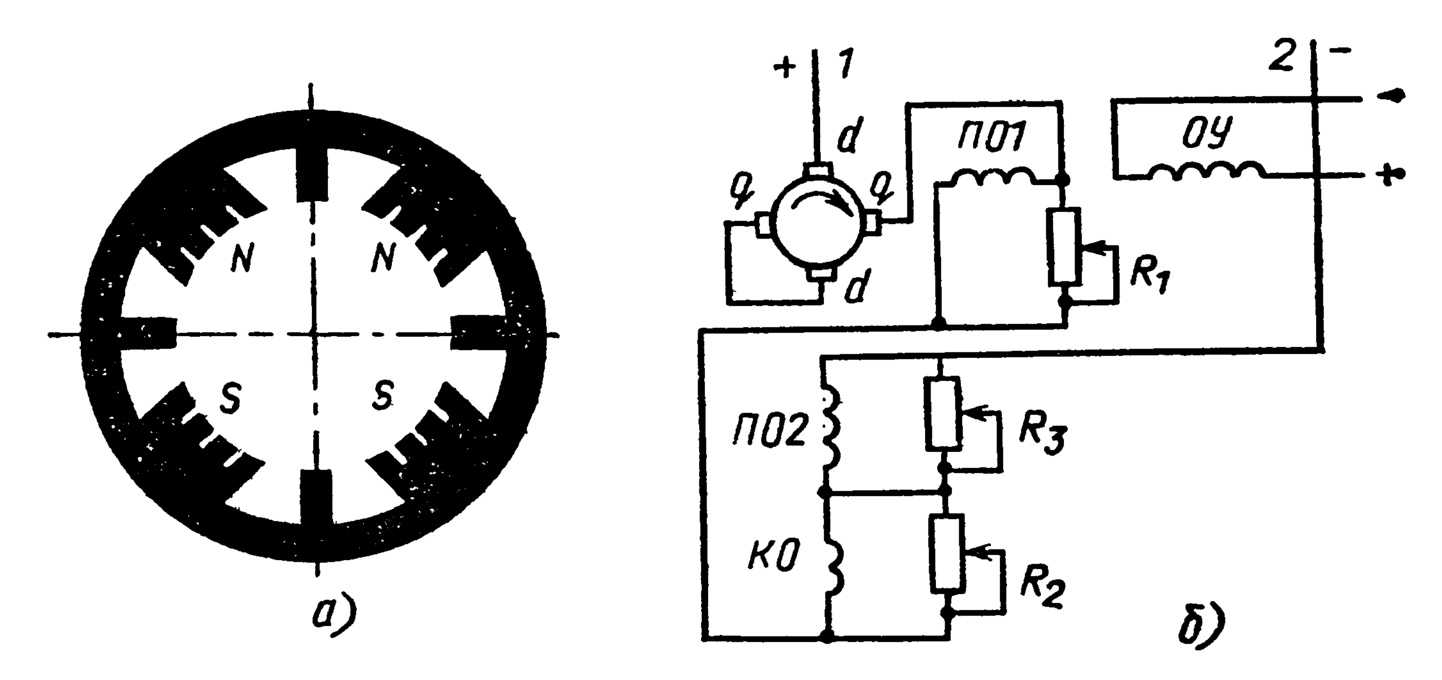


Рис. 195. Электромашинный усилитель поперечного поля:

а — поперечное сечение статора; *б* — схема включения: *d—d* — часть обмотки якоря, принадлежащая цепи нагрузки; *КО* — компенсационная обмотка цепи нагрузки; *ПО2* — обмотка дополнительных полюсов цепи нагрузки; *q—q* — короткозамкнутая часть обмотки якоря; *ПО1* — обмотка дополнительных полюсов короткозамкнутой цепи; *ОУ* — обмотка управления (возбуждения)

Для обычных электрических машин постоянного тока характерно влияние реакции якоря на основной магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, что приводит к снижению быстродействия и уменьшению коэффициента усиления по мощности. Для устранения указанных недостатков в ЭМУ поперечного поля используется компенсационная обмотка, что позволяет при мощности входного сигнала в несколько ватт управлять выходной мощностью в 40 кВт и более.

Конструктивно статор и ротор ЭМУ поперечного поля имеют много общего с аналогичными конструктивными элементами обычных электрических машин постоянного тока. Для уменьшения потерь на перемагничивание статор выполняется из шихтованной электротехнической стали, причем шихтованными выполняются как ярмо статора, так и расположенные на нем главные и дополительные полюсы.

В современных ЭМУ поперечного поля главные полюсы состоят из двух частей одинаковой полярности. Из четырех дополнительных

полюсов одна пара используется для короткозамкнутой цепи, а другая — для цепи нагрузки (рис. 195).

Переменные резисторы *R1* и *R2* используются для регулирования режима коммутации соответствующих обмоток, *R3* — для установки степени компенсации реакции якоря.

Обычно ЭМУ используются преимущественно в электроприводах постоянного тока для питания обмотки возбуждения мощных генераторов постоянного тока. Высокое быстродействие ЭМУ позволяет улучшить регулировочные характеристики указанных генераторов. При использовании ЭМУ поперечного поля в качестве регулятора напряжения цепь управления состоит из нескольких обмоток возбуждения, благодаря чему регулирование производится одновременно в функции нескольких параметров [2].

Электронный усилитель — усилитель, эффект усиления которого основан на использовании свойств полупроводниковых, электронных и ионных приборов.

Усилители на транзисторах используются для усиления сигналов сравнительно небольшой мощности. Так, например, транзисторный усилитель может быть включен в цепь управления тиристора, мощность которого в настоящее время во много раз больше мощности транзисторов. В качестве источника питания в транзисторных усилителях используется сеть постоянного тока, в тиристорных усилителях — сеть постоянного и переменного тока.

В отдельных устройствах используются усилители на электронных лампах, входной сигнал которых поступает на сетку, а электрический ток через лампу протекает благодаря тепловой эмиссии электронов с поверхности подогреваемого катода.

Электромеханическое торможение (растормаживающий электромагнит).

Электропривод — электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного передаточного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение вспомогательных органов рабочей машины и управления этим движением.

Электропривод содержит рабочий орган механизма, электродвигатель, передаточное устройство, осуществляющее связь между ними, а также электрические приборы и аппараты, выполняющие функции управления, контроля и защиты от аварийных режимов. Передаточное устройство обеспечивает жесткую или гибкую (электромагнитные муфты) связь между электродвигателем и рабочим органом [10].

Электростатическое поле — электрическое поле неподвижных заряженных тел при отсутствии в них электрических токов.

Поле проявляет себя в силовом воздействии определенного направления и значения на свободные электрические заряды и характеризуется индукцией или диэлектрической поляризацией. Поле может быть представлено посредством силовых линий, каждая из которых образуется как мысленно проведенная линия, начинающаяся на положительно заряженном теле и оканчивающаяся на отрицательно заряженном теле.

Различают электростатические поля следующих типов:

однородное плоскопараллельное поле, силовые линии которого имеют равномерную плотность и параллельны друг другу (рис. 196, *а*);

радиальное однородное поле, силовые линии которого направ-

лены перпендикулярно поверхности цилиндрического заряженного тела (рис. 196, *б*);

неоднородное поле, силовые линии которого имеют неравномерное распределение относительно заряженных тел (рис. 196, *в*) [1].

Элемент задержки — элемент электрической цепи, выходной сигнал которого появляется через некоторое время после прихода входного сигнала.

Время задержки зависит от конструкции или схемы задержки и соответствует интервалу времени с момента прихода входного сигнала до момента достижения выходным сигналом половины амплитудного значения. Используемые в электроизмерительных приборах демпфирующие устройства можно рассматривать как элементы задержки.

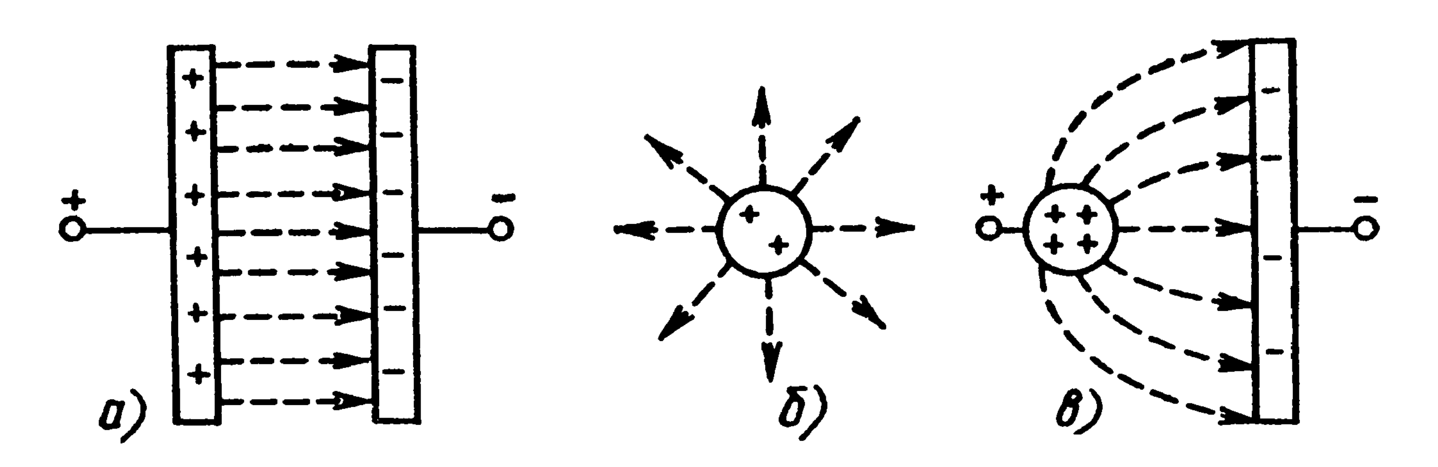


Рис. 196. Электростатическое поле

Элемент Шенфера (логический элемент НЕ—И).

Я

Явнополюсный ротор — вращающийся индуктор трехфазной синхронной машины с сосредоточенной обмоткой возбуждения.

В конструктивном отношении явнополюсные роторы отличаются многообразием. Наиболее распространен ротор, состоящий из магнитопровода, выполненного из ферромагнитного материала сплошным или набранным из отдельных пластин. Обод ротора выполнен массивным из стальной поковки и насажен на вал. На поверхности магнитопровода, со стороны воздушного зазора, закреплены полюсы с полюсными башмаками. Ввиду того что магнитный поток, создаваемый обмоткой якоря, изменяется во времени и пространстве, взаимодействуя с магнитопроводом ротора, последний и изготовляется шихтованным. Это позволяет снизить потери на вихревые токи. На полюсных башмаках имеются пазы, в которые укладывается или заливается демпферная обмотка, стержни которой закорочены посредством колец. Обмотка возбуждения выполнена в виде цилиндрических катушек, надеваемых на полюс, на который затем устанавливаются полюсные башмаки. Постоянный ток на вращающуюся обмотку возбуждения подается через пару контактных колец со щетками. На транспортных средствах широко используются бесконтактные синхронные машины, возбуждение которых осуществляется от собственного возбудителя, вращающегося вместе с явнополюсным

ротором. В качестве возбудителя используется синхронный генератор с внешними полюсами (обращенной конструкции), обмотка якоря которого подключена к обмотке возбуждения основного генератора через выпрямитель.

Якорь — вращающаяся часть электрической машины, содержащая обмотку, при вращении которой в магнитном поле в ней наводится ЭДС.

Ярмо — часть магнитной системы трансформатора, не несущая основных обмоток и служащая для замыкания магнитного потока [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 19880-74.** Электротехника. Основные понятия. ТиО. М.: Изд-во стандартов, 1975.

2. **СТ СЭВ 169-75.** Машины электрические вращающиеся. Виды. ТиО. М.: Изд-во стандартов, 1977.

3. **ГОСТ 23375-78.** Машины электрические малой мощности. Т, О и буквенные обозначения параметров. М.: Изд-во стандартов, 1980.

4. **ГОСТ 16110-82.** Трансформаторы силовые. ТиО. М.: Изд-во стандартов, 1982.

5. **ГОСТ 17703-72.** Аппараты электрические коммутационные. Основные понятия. ТиО. М.: Изд-во стандартов, 1982.

6. **ГОСТ 18685-73.** Трансформаторы тока и напряжения. ТиО. М.: Изд-во стандартов, 1981.

7. **Международная** система единиц измерений СИ. М.: Высшая школа, 1967.

8. **ГОСТ 17154-71.** Машины электрические вращающиеся. Характеристики, расчетные параметры и режимы работы. ТиО. М.: Изд-во стандартов, 1971.

9. **ГОСТ 21888-82.** Щетки, щеткодержатели, коллекторы, контактные кольца электрических машин. ТиО. М.: Изд-во стандартов, 1982.

10. **ГОСТ 16593-79.** Электроприводы. ТиО. М.: Изд-во стандартов, 1984.

11. **ГОСТ 16022-83.** Реле электрические. ТиО. М.: Изд-во стандартов, 1984.

12. **СТ СЭВ 246-76.** Машины электрические вращающиеся. Условные обозначения конструктивных исполнений по способу монтажа. М.: Изд-во стандартов, 1977.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Е

З

И

К

Л

М

Н

О

П

С

Т

У

Э

Я

Справочное издание

ШПАННЕБЕРГ ХОРСТ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
1000 ПОНЯТИЙ ДЛЯ ПРАКТИКОВ

Редактор *А. Н. Ледовский*
Редактор издательства *Ю. Ф. Архипцев*
Художественные редакторы *А. Т. Кирьянов, А. А. Белоус*
Технический редактор *Н. П. Собакина*
Корректор *З. Б. Драновская*
ИБ 2328

Сдано в набор 31.08.87. Подписано в печать 12.01.88. Формат 84×108[1]/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,44. Усл. кр.-отт. 13,65. Уч.-изд. л. 18,58. Тираж 80 000 экз. Заказ № 934. Цена 1 р. 30 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Госкомиздате СССР
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Граф Ш., Гёссель М. Схемы поиска неисправностей: Пер. с нем. — 5 л.: ил.: 50 000 экз.

Посвящена новым и оригинальным методам построения схем для корректировки ошибок в дискретных устройствах и методам синтеза таких схем с помощью ЭВМ. Предложения авторов книги используются в ЭВМ, разрабатываемых комбинатом «Роботрон» (ГДР) в ЭВМ семейства ЕС РЯД.

Для инженерно-технических работников в области вычислительной техники.

Кенио Т., Нагамори С. Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами: Пер. с англ. — 15 л.: ил.: 3 р. 30 к., 8000 экз.

В краткой и допустимой форме изложена теория и приведены примеры использования двигателей постоянного тока с постоянными магнитами. Рассмотрены конструкции, характеристики, параметры, а также схемы управления двигателей постоянного тока (приводы печатающих устройств вычислительной техники, лентопротяжные механизмы магнитофонов, приводы проигрывателей). Приведены характеристики вентильных двигателей, выпускаемых за рубежом.

Для инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и эксплуатацией электроприводов с двигателями постоянного тока.

Фолкенберри Л. М. Справочное пособие по ремонту электрических и электронных систем: Пер. с англ. — 25 л.: ил.: 2 р., 30 000 экз.

Рассмотрены общие принципы отыскания неисправностей и ремонта различного электротехнического и электронного оборудования. Описаны основные электроизмерительные приборы, используемые при отыскании неисправностей. Приведены методы определения характера и локализации неисправностей как для аналоговых (источники питания, стереосистемы), так и для цифровых (каналы связи, роботы, микро-ЭВМ) систем.

Для инженерно-технических работников, занятых наладкой и эксплуатацией электротехнического

и электронного оборудования. Может быть полезна широкому кругу читателей, занимающихся бытовой электроникой и электротехникой.

Цербст М. Контрольно-измерительная техника: Пер. с нем. — 24 л.: ил.: 1 р. 90 к., 20 000 экз.

Систематизированы сведения о современных методах измерения параметров и испытаний полупроводниковых приборов, интегральных микросхем и оптоэлектронных элементов. Рассмотрены перспективные способы определения характеристик изделий электронной техники, в том числе силовых полупроводниковых приборов. Приведены схемы автоматических контрольных устройств и измерительных станций.

Для инженерно-технических работников в области электронно-измерительной техники, студентов вузов и широкого круга читателей, интересующихся вопросами качества электронных приборов.

Бриндли К. Электронные контрольно-измерительные приборы: Пер. с англ. — 8 л.: ил.: 55 к., 25 000 экз.

Представляет собой пособие для изучения современных контрольно-измерительных приборов и способов их применения. В популярной форме описаны устройство и назначение осциллографов, генераторов сигналов, измерителей временных интервалов, частотомеров, анализаторов спектра и логических анализаторов. Рассмотрены принципы аналоговых и цифровых измерений, основы построения автоматизированных измерительных систем.

Для инженерно-технических работников, учащихся техникумов и профтехучилищ, а также для читателей, самостоятельно изучающих современную измерительную аппаратуру.

Арриллага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах: пер. с англ. — 25 л.: ил.: 2 р., 5 000 экз.

Обобщен опыт исследований проблемы высших гармоник в электрических системах, проведенных

специалистами многих стран. Описаны методы гармонического анализа, источники гармоник, их воздействие на силовое электрооборудование и линии связи, способы измерения и нормирования уровней гармоник. Рассмотрены способы снижения уровней гармоник.

Для инженерно-технических работников в области электроэнергетики.

Прием заказов на эти книги магазины проводят без ограничений с 15 апреля по 1 ноября 1988 г.

Организации могут заказать книги через магазины гарантийными письмами.